

# **DESARROLLO METODOLÓGICO PARA LA INCORPORACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE ASISTENCIA A LAS AERONAVES (eGSE) Y SU APLICACIÓN EN EL AEROPUERTO DE EZEIZA (SAEZ)**



## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

**AUTOR: EZEQUIEL GRANDA**

Director: Ing. Lucas Sznajderman

Codirectores: Msg. Alejandro Di Bernardi, Msg. Matías Coppa

**Universidad Nacional de La Plata (UNLP)**

**Facultad de Ingeniería Aeronáutica**

## Índice de contenidos

1	Tema.....	10
2	Objetivo.....	10
3	Alcance.....	10
4	Introducción.....	10
5	Marco teórico.....	12
5.1	Normativa y regulaciones.....	12
5.2	Programas de apoyo a iniciativas ambientales aeroportuarias.....	12
5.2.1	Airport Carbon Accreditation.....	12
5.2.2	VALE.....	13
5.2.3	CORSIA.....	14
5.3	Ground Support Equipment (GSE).....	14
5.3.1	Unidad de potencia en tierra (GPU).....	15
5.3.2	Unidad de arranque neumático.....	15
5.3.3	Unidad de aire acondicionado.....	16
5.3.4	Remolcador de aeronaves.....	16
5.3.5	Camión de catering.....	17
5.3.6	Vehículo de limpieza.....	18
5.3.7	Vehículo anticongelante.....	18
5.3.8	Camión cisterna de combustible.....	19
5.3.9	Vehículo de limpieza de aguas residuales.....	20
5.3.10	Vehículo de abastecimiento de agua potable.....	20
5.3.11	Escalera de pasajeros.....	21
5.3.12	Vehículo de pasajeros con movilidad reducida.....	22
5.3.13	Bus de pasajeros.....	22
5.3.14	Tractor de equipaje.....	23
5.3.15	Cinta transportadora.....	24
5.3.16	Elevador de carga.....	24
5.4	Contaminantes gaseosos asociados a la operación aeroportuaria.....	25
5.5	Electric Ground Support Equipment (eGSE).....	28
5.5.1	Ventajas.....	28
5.5.2	Desventajas.....	30
6	Metodología general.....	32
6.1	Análisis de la flota operativa.....	32

6.2	Caracterización de los vehículos de asistencia en tierra.....	34
6.2.1	Tiempos de carga y de agotamiento de combustible .....	34
6.3	Determinación de recorridos y tiempos de circulación/operativos de los GSE .....	39
6.3.1	Determinación de la cantidad óptima de GSE .....	44
6.4	Determinación del aporte contaminante gaseoso de los GSE .....	44
6.5	Identificación de vehículos clave.....	46
6.6	Análisis operativo de los eGSE .....	46
6.6.1	Tiempo de descarga de las baterías .....	46
6.6.2	Tiempo de carga de las baterías.....	47
6.6.3	Influencia de los tiempos de carga y descarga en las operaciones.....	49
6.7	Estimación del consumo eléctrico de los eGSE .....	49
6.8	Determinación de los requerimientos de la infraestructura .....	51
6.9	Análisis potencial de fuentes de energía alternativa .....	51
7	Caso de aplicación: Aeropuerto Internacional Ezeiza (SAEZ).....	53
7.1	Hipótesis.....	53
7.2	Caracterización del aeropuerto de referencia .....	54
7.2.1	Pistas .....	55
7.2.2	Calles de rodaje .....	56
7.2.3	Plataformas .....	57
7.3	Análisis de la flota operativa .....	60
7.3.1	Obtención de la semana de diseño .....	63
7.4	Caracterización de los vehículos de asistencia en tierra.....	65
7.4.1	Tiempos de carga y de agotamiento de combustible .....	66
7.5	Determinación de recorridos y tiempos de circulación/operativos de los GSE .....	70
7.5.1	Emplazamiento de las estaciones de carga de combustible .....	70
7.5.2	Caminos de circulación.....	71
7.5.3	Tiempos de circulación.....	76
7.5.4	Tiempos operativos.....	77
7.5.5	Determinación de la cantidad óptima de GSE .....	78
7.6	Determinación del aporte contaminante gaseoso de los GSE .....	80
7.6.1	Potencia el freno .....	80
7.6.2	Factores de emisión .....	81
7.6.3	Factores de deterioro.....	81
7.6.4	Aporte contaminante .....	82
7.7	Identificación de vehículos clave.....	85

7.7.1	Identificación de vehículos aptos para la conversión a eléctrico.....	85
7.8	Análisis operativo de los eGSE .....	87
7.8.1	Tiempo de descarga de las baterías .....	88
7.8.2	Tiempo de carga de las baterías.....	90
7.8.3	Influencia de los tiempos de carga y descarga en las operaciones.....	91
7.9	Estimación del consumo eléctrico de los eGSE.....	95
7.9.1	Consumo de combustible de los GSE .....	96
7.9.2	Ahorro de combustible.....	97
7.10	Determinación de los requerimientos de la infraestructura .....	98
7.11	Análisis potencial de fuentes de energía alternativa .....	99
7.11.1	Análisis de viabilidad .....	100
7.11.2	Selección de los aerogeneradores .....	101
7.11.3	Localización de los aerogeneradores .....	103
8	Conclusiones.....	105
8.1	Sobre la metodología y el cálculo .....	105
8.2	Sobre los resultados .....	105
8.3	Observación y recomendaciones .....	106
8.4	Trabajos futuros .....	106
9	ANEXO A.....	108
9.1	Listado de vehículos eléctricos.....	108
9.2	Ejemplo de cálculo de la potencia instantánea de la cinta transportadora.....	110
10	Bibliografía .....	113

## Índice de figuras

Figura 1 – Gases de efecto invernadero por sector (Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC) .....	11
Figura 2 - Programa Airport Carbon Accreditation .....	13
Figura 3 - .....	13
Figura 4 - Cronograma de reducción de carbono del programa CORSIA .....	14
Figura 5 - Unidad de potencia en tierra (GPU) .....	15
Figura 6 - Unidad de arranque neumático .....	16
Figura 7 - Unidad de acondicionamiento de aire .....	16
Figura 8 - Remolcador de aeronaves .....	17
Figura 9 - Camión de catering .....	17
Figura 10 - Vehículo de limpieza .....	18
Figura 11 - Vehículo anticongelante .....	19
Figura 12 - Camión cisterna de combustible .....	19
Figura 13 - Vehículo de limpieza de aguas residuales .....	20
Figura 14 - Vehículo de abastecimiento de agua potable .....	21
Figura 15 - Escalera de pasajeros .....	21
Figura 16 - Vehículo de pasajeros con movilidad reducida .....	22
Figura 17 - Bus de pasajeros .....	23
Figura 18 - Tractor de equipaje .....	23
Figura 19 - Cinta transportadora .....	24
Figura 20 - Elevador de carga .....	25
Figura 21 - Batería de plomo-ácido (izquierda) y compartimento baterías del elevador de carga JBT Aerotech C15 (derecha) [6] .....	30
Figura 22 – Esquema de la metodología general .....	32
Figura 23 - Fuerza de tracción y resistencias asociadas .....	35
Figura 24 - Áreas de estacionamiento GSE (Fuente: [12]) .....	41
Figura 25 - Procedimiento tipo A .....	42
Figura 26 - Procedimiento tipo B .....	42
Figura 27 - Procedimiento tipo C .....	43
Figura 28 - Estaciones de carga PosiCharge .....	48
Figura 29 - Estaciones de carga Aeropuerto Internacional de Oakland .....	49
Figura 30 - Ubicación del Aeropuerto Internacional Ezeiza (SAEZ) .....	53
Figura 31 - Esquema parte aeronáutica del Aeropuerto Internacional Ezeiza .....	55
Figura 32 - Configuración de pistas .....	56
Figura 33 - Configuración de calles de rodaje .....	57
Figura 34 - Plataforma comercial de pasajeros .....	58
Figura 35 - Plataforma comercial de carga .....	59
Figura 36 - Plataforma industrial .....	60
Figura 37 - Movimiento total de aeronaves enero de 2020 (Ezeiza) .....	61
Figura 38 - Mezcla de tráfico según vuelo registrado enero de 2020 (Ezeiza) .....	62
Figura 39 - Ocupación porcentual de los sectores I y II de la plataforma comercial de pasajeros enero de 2020 (Ezeiza) .....	62
Figura 40 - Ocupación porcentual de puestos según vuelo internacional o doméstico enero de 2020 (Ezeiza) .....	63
Figura 41 - Tipo de fuselaje de la mezcla de tráfico en la semana analizada .....	65

Figura 42 - Base de operaciones Aerohandling e Intercargo .....	66
Figura 43 - Ubicación de las estaciones de carga .....	70
Figura 44 - Zonas operativas de los vehículos de asistencia en tierra .....	71
Figura 45 - Puestos de estacionamiento procedimiento A .....	72
Figura 46 - Puestos de estacionamiento procedimiento B .....	73
Figura 47 - Circuito de los camiones cisterna.....	74
Figura 48 - Circuito de los camiones de catering .....	75
Figura 49 - Circuito de los vehículos de abastecimiento de agua potable y de aguas residuales .....	76
Figura 50 - Red de nodos establecidos en la plataforma comercial de pasajeros .....	79
Figura 51 - Aporte contaminante total en la semana analizada .....	82
Figura 52 - Aporte contaminante del monóxido de carbono en la semana analizada .....	83
Figura 53 - Aporte contaminante de los hidrocarburos en la semana analizada .....	84
Figura 54 - Aporte contaminante del óxido de nitrógeno en la semana analizada .....	84
Figura 55 - Vehículos eléctricos Charlatte America .....	86
Figura 56 - Vehículos eléctricos TLD, Harlan Global y Tug Technologies .....	86
Figura 57 - Cantidad óptima de vehículos eléctricos .....	91
Figura 58 - Ciclos de carga y descarga remolcadores de aeronaves .....	92
Figura 59 - Ciclos de carga y descarga escaleras de pasajeros.....	92
Figura 60 - Ciclos de carga y descarga buses de pasajeros .....	93
Figura 61 - Ciclos de carga y descarga cintas transportadoras .....	93
Figura 62 - Ciclos de carga y descarga tractores de equipaje .....	94
Figura 63 - Ciclos de carga y descarga vehículos de abastecimiento de agua potable.....	94
Figura 64 - Ciclos de carga y descarga vehículos de limpieza de aguas residuales.....	95
Figura 65 - Ciclos de carga y descarga camiones de catering .....	95
Figura 66 - Vista frontal – Estación de carga Aeropuerto Internacional Ezeiza .....	98
Figura 67 - Vista lateral – Sector de carga Aeropuerto Internacional Ezeiza .....	99
Figura 68 - Potencia instalada por región (Datos actualizados al 2019 [21]).....	100
Figura 69 - Velocidad media anual de vientos a 50m – Provincia de Buenos Aires .....	101
Figura 70 - Dirección y frecuencia de vientos .....	103
Figura 71 - Superficies Limitadoras de Obstáculos .....	104
Figura 72 - Emplazamiento del aerogenerador.....	104



## Índice de tablas

Tabla 1 - Emisiones gaseosas producidas por la aviación (Fuente: [5]) .....	27
Tabla 2 - Ventajas y desventajas de los eGSE.....	28
Tabla 3 - Identificación de vehículos GSE por servicio .....	34
Tabla 4 - Trayectorias por tipo de procedimiento .....	41
Tabla 5 - Características generales del Aeropuerto Internacional Ezeiza (Datos actualizados al 2019) .....	53
Tabla 6 - Características físicas de las pistas (Fuente: AIP Ezeiza) .....	55
Tabla 7 - Distancias Declaradas (Fuente: AIP Ezeiza) .....	56
Tabla 8 - Movimiento de aeronaves enero de 2020 (Ezeiza) .....	61
Tabla 9 - Cantidad de movimientos semanales enero de 2020 (Ezeiza) .....	63
Tabla 10 - Cantidad de movimientos mes de enero de 2020 y semana pico (Ezeiza) .....	64
Tabla 11 - Mezcla de tráfico semana pico del mes de enero de 2020 (Ezeiza) .....	64
Tabla 12 - Modelos de referencia para el cálculo .....	66
Tabla 13 - Capacidad de almacenamiento de combustible .....	67
Tabla 14 - Tiempos de carga de combustible.....	67
Tabla 15 - Masa y área frontal de los GSE.....	68
Tabla 16 - Parámetros de referencia.....	68
Tabla 17 - Factores de carga modo manejo .....	68
Tabla 18 - Factores de carga modo operación – Descarga (Fuente: [10]) .....	69
Tabla 19 - Factores de carga modo operación – Carga (Fuente: [10]).....	69
Tabla 20 - Potencia media de los GSE .....	69
Tabla 21 - Parámetros de referencia.....	69
Tabla 22 - Tiempos de agotamiento de combustible.....	70
Tabla 23 - Tiempos totales de circulación en plataforma en la semana analizada.....	76
Tabla 24 - Tiempos operativos para aeronaves de fuselaje angosto (Fuente: [19]).....	77
Tabla 25 - Tiempos operativos para aeronaves de fuselaje ancho .....	77
Tabla 26 - Tiempos totales de servicio en la semana analizada.....	78
Tabla 27 - Cantidad óptima de vehículos para la semana analizada .....	80
Tabla 28 - Potencia al freno (Fuente: EDMS) .....	81
Tabla 29 - Factores de emisión (Fuente: [11]) .....	81
Tabla 30 - Tiempos en servicio y de vida útil de los equipos GSE (Fuente: [11]) .....	81
Tabla 31 - Coeficientes auxiliares para factor de deterioro (Fuente: [11]).....	82
Tabla 32 - Factor de deterioro (Fuente: [11]) .....	82
Tabla 33 - Disponibilidad de eGSE.....	86
Tabla 34 - Especificaciones técnicas de los vehículos eGSE .....	87
Tabla 35 - Masa y área frontal de los eGSE .....	88
Tabla 36 - Parámetros de referencia.....	88
Tabla 37 - Factores de carga modo manejo .....	89
Tabla 38 - Factores de carga modo operación – Descarga (Fuente: [10]) .....	89
Tabla 39 - Factores de carga modo operación – Carga (Fuente: [10]).....	89
Tabla 40 - Factores de carga medios y potencia media .....	90
Tabla 41 - Tiempos de descarga de las baterías.....	90
Tabla 42 - Tiempos de carga de las baterías .....	91
Tabla 43 - Tiempo de funcionamiento de los eGSE en la semana analizada .....	96
Tabla 44 - Consumo eléctrico de los eGSE en la semana analizada.....	96

Tabla 45 - Tiempo de funcionamiento de los GSE en la semana analizada .....	96
Tabla 46 - Litros consumidos por los GSE en la semana analizada .....	97
Tabla 47 - Precio del combustible y de la electricidad en Argentina .....	97
Tabla 48 - Gastos en combustible y electricidad en la semana analizada .....	97
Tabla 49 - Ahorro semanal en combustible .....	98
Tabla 50 - Potencia total a instalar en el predio .....	99
Tabla 51 - Características físicas de los aerogeneradores.....	102
Tabla 52 - Energía producida anual y factor de capacidad de los aerogeneradores .....	102
Tabla 53 - Remolcadores de aeronaves disponibles en el mercado .....	108
Tabla 54 - Tractores de equipaje/carga disponibles en el mercado .....	109
Tabla 55 - Unidades de potencia en tierra disponibles en el mercado.....	109
Tabla 56 - Cintas transportadoras disponibles en el mercado.....	109
Tabla 57 - Escaleras de pasajeros disponibles en el mercado.....	109
Tabla 58 - Camiones de catering disponibles en el mercado.....	110
Tabla 59 - Elevadores de carga disponibles en el mercado .....	110
Tabla 60 - Buses de pasajeros disponibles en el mercado .....	110
Tabla 61 - Vehículos de abastecimiento de agua potable disponibles en el mercado .....	110
Tabla 62 - Vehículos de limpieza de aguas residuales disponibles en el mercado .....	110
Tabla 63 - Vehículo de limpieza disponible en el mercado.....	110
Tabla 64 - Unidad de acondicionamiento de aire disponible en el mercado.....	110
Tabla 65 - Vehículo de pasajeros con movilidad reducida disponible en el mercado .....	110
Tabla 66 - Cálculo de potencia instantánea de la cinta transportadora a combustión interna	111
Tabla 67 - Cálculo de potencia instantánea de la cinta transportadora eléctrica .....	112



## Acrónimos y abreviaciones

<b>ACA</b>	Airport Carbon Accreditation
<b>ACI</b>	Airports Council International
<b>ACU</b>	Unidad de Acondicionamiento de Aire
<b>AIP</b>	Publicación de Información Aeronáutica
<b>ASU</b>	Unidad de Arranque Neumático
<b>CAVEA</b>	Cámara Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CORSIA</b>	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
<b>EDMS</b>	Emissions and Dispersion Modeling System
<b>eGSE</b>	Vehículos de apoyo en tierra eléctricos
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>EPA</b>	Área de Estacionamiento de Equipos
<b>ERA</b>	Área de Restricción de Equipos
<b>ESA</b>	Área de Espera de Equipos
<b>FAA</b>	Federal Aviation Administration
<b>FSC</b>	Full Service Carrier
<b>GAV</b>	Vehículos de Acceso al Aeropuerto
<b>GPU</b>	Unidad de Potencia Auxiliar
<b>GSE</b>	Vehículos de asistencia en tierra
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Vapor de agua
<b>HC</b>	Hidrocarburos
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>LCC</b>	Low Cost Carrier
<b>NB</b>	Narrow Body
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxido de Nitrógeno

<b>NPA</b>	Área de Prohibición de Aparcamiento
<b>OACI</b>	Organización de Aviación Civil Internacional
<b>PFC</b>	Cargos por Instalaciones para Pasajeros
<b>PM</b>	Material Particulado
<b>SAEZ</b>	Aeropuerto Internacional Ezeiza
<b>SO<sub>x</sub></b>	Óxido de Sulfuro
<b>UNLP</b>	Universidad Nacional de La Plata
<b>VALE</b>	Voluntary Airport Low Emission
<b>WB</b>	Wide Body

## 1 Tema

Desarrollo metodológico para la incorporación de vehículos eléctricos de asistencia a las aeronaves (eGSE) y su aplicación en el Aeropuerto de Ezeiza (SAEZ).

## 2 Objetivo

El presente trabajo final tiene por objeto el desarrollo de una metodología que permita evaluar el reemplazo parcial o total de los vehículos de asistencia a las aeronaves por vehículos eléctricos en cualquier aeropuerto independiente de sus dimensiones operacionales y de los servicios requeridos con el objeto de obtener una mayor reducción de las emisiones gaseosas asociadas al servicio y circulación, generadas por los GSE.

## 3 Alcance

Identificación y análisis de la operación de todos los vehículos de asistencia a las aeronaves con el fin de determinar -de acuerdo a sus características técnicas- la viabilidad de la incorporación de vehículos eléctricos. Dicho análisis, está sujeto al tipo de servicio brindado por las mismas, ya sean vuelos regulares o low-cost, origen destino o escala, siendo necesario el análisis de la flota operativa vigente y los servicios requeridos tanto para aeronaves de fuselaje angosto (Narrow Body) como para aeronaves de fuselaje ancho (Wide Body).

Desarrollo de un algoritmo de optimización como herramienta de apoyo que permita evidenciar los ciclos operativos de los vehículos a combustibles fósiles y eléctricos.

La diversidad de GSE obliga a profundizar el estudio sobre la posibilidad de transformar estos vehículos en eléctricos y sus ventajas asociadas a las emisiones gaseosas en el contexto operativo propio de circulación y servicio en una plataforma aeroportuaria. Asociado a ello, se analiza sobre la capacidad eléctrica aeroportuaria necesaria para poder abastecer a la flota operativa de eGSE, así como también sobre el posible desarrollo de una planta de energía renovable en el predio aeroportuario.

Como caso de estudio, se aplica la metodología desarrollada para una semana tipo en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza.

## 4 Introducción

Desde hace varias décadas el medio ambiente ha sufrido las consecuencias negativas del desarrollo industrial. Si bien se dispone de la tecnología y de los medios necesarios para aminorar esta cuestión, no se han llevado a cabo desarrollos significativos en pos de reducir los niveles de contaminación.

De acuerdo con la bibliografía de referencia [1], el mayor aporte contaminante mundial está dado por el suministro de energía (29,3%), y en segundo término los

medios de transporte con el 19,5%. Cabe destacar que -si bien el avión es el medio de transporte más contaminante- la industria aérea representa el 3% de las emisiones globales.

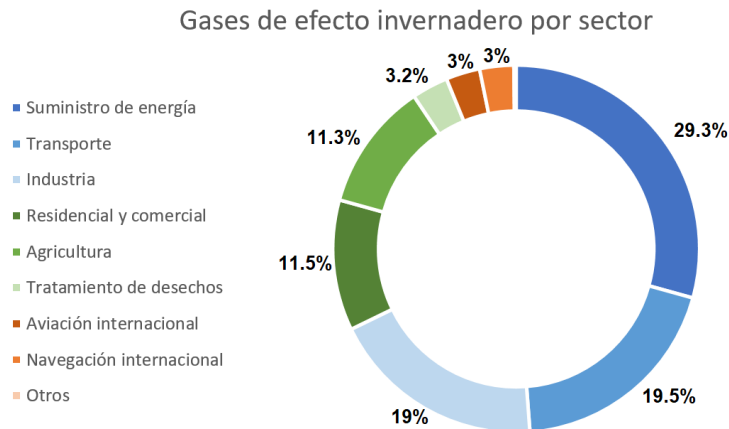


Figura 1 – Gases de efecto invernadero por sector (Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC)

Con el devenir de los años, el tráfico aéreo ha mostrado una tendencia creciente, haciendo indispensable el incremento de la flota aérea para abastecer la demanda de pasajeros y, por ende, repercutiendo directamente en el aumento de los niveles de contaminación. Bajo el contexto del acuerdo de Kyoto y del programa CORSIA (descrito en 5.2.3), se hace notoria la obligación y el compromiso de los aeropuertos por inclinar la balanza hacia el empleo de tecnologías limpias. El uso responsable de los recursos naturales, la reducción del consumo energético, la utilización de energías renovables para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la gestión de los residuos, son algunas de las medidas que permiten orientar la evolución de los mismos, hacia los denominados “aeropuertos verdes”.

Sin embargo, este escenario de desarrollo ha tenido un giro repentino hacia fines del año 2019 con la aparición de la pandemia por Coronavirus. Vuelos vacíos o cancelados, quiebre de aerolíneas, cierre de aeropuertos, y despidos masivos son algunas de las afecciones que ha sufrido el sector aeronáutico.

Respecto del programa CORSIA -si bien siempre se computan dos años a efectos de la determinación de resultados- en el panorama descrito supra, sólo se puede tomar el año 2019 como año pleno de referencia.

Los emplazamientos aeroportuarios (hasta inicios del año 2020) registraban una gran actividad diaria, la cual se preveía sería exponencial en los años subsiguientes. Si bien la contaminación gaseosa producida por las aeronaves representa el porcentaje más significativo: superior al 85% [2], también deben tenerse en cuenta otros focos de emisión [3] como:

1. Vehículos de apoyo en tierra (GSE).
2. Vehículos de acceso al aeropuerto (GAV).
3. Energía eléctrica consumida por el aeropuerto.

En una era en la que los costos de los combustibles aumentan rápidamente, se hace visible el objetivo de las aerolíneas por querer reducir sus gastos. La electrificación de los equipos de apoyo en tierra (GSE), si bien representa un desembolso de capital inicial significativo, resulta ser una opción más que viable a largo plazo.

## 5 Marco teórico

### 5.1 Normativa y regulaciones

Hoy en día no hay ninguna reglamentación a nivel nacional que permita que un vehículo reconvertido pueda circular en la vía pública. Generalmente estos trámites se solicitan de manera individual y se aprueban de la misma forma. Frente a esta problemática es que la Facultad de Ingeniería de La Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Cámara Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos (CAVEA) han firmado un convenio con el objeto de impulsar un marco normativo que facilite la reconversión y que permita la circulación de vehículos propulsados con energía renovable.

### 5.2 Programas de apoyo a iniciativas ambientales aeroportuarias

Si bien la responsabilidad individual de los Estados por reducir los gases de efecto invernadero resulta significativo, el compromiso conjunto es el que hará la diferencia. La cooperación entre países es clave en términos de acelerar los procesos y arribar al objetivo más rápido.

En este marco es que se han desarrollado diversos programas de apoyo a iniciativas ambientales en emplazamientos aeroportuarios, entre los que se pueden mencionar:

- Airport Carbon Accreditation (ACA)
- Voluntary Airport Low Emission (VALE)
- Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)

#### 5.2.1 Airport Carbon Accreditation

**Airport Carbon Accreditation** es un programa de gestión de carbono impulsado por la ACI (Airports Council International) y administrado por la consultora internacional WSP. El mismo tiene por objetivo delimitar estándares de acreditación para aquellos aeropuertos que desean cumplir niveles de neutralización de emisiones de carbono. El esfuerzo de los aeropuertos por reducir sus emisiones de carbono se evalúa en base a 4 niveles de certificación: mapeo, reducción, optimización y neutralidad.



Figura 2 - Programa Airport Carbon Accreditation

El nivel 1 hace referencia a la medición de la huella de carbono, el nivel 2 a la gestión del carbono y al progreso hacia una huella de carbono reducida, el nivel 3 a la participación de terceros (aerolíneas y proveedores de servicios) en la reducción de la huella, y el nivel 4 a la neutralización de las emisiones de carbono restantes.

Si bien la adherencia al programa no es obligatoria, el hecho de formar parte del mismo otorga cierto grado de prestigio al aeropuerto.

### 5.2.2 VALE

La Federal Aviation Administration (FAA) creó por su parte el programa **VALE (Voluntary Airport Low Emission)**. Se trata de un programa de incentivo económico destinado a aquellos aeropuertos que desean reducir el aporte contaminante producido por fuentes de emisión terrestre y mejorar la calidad del aire mediante el uso de tecnologías limpias.

Los proyectos VALE aptos para financiación están asociados al reemplazo de vehículos GSE por unidades eléctricas y a la adaptación de la infraestructura (disposición de estaciones de carga); a la implementación de sistemas de combustible subterráneos para eliminar el reabastecimiento de combustible a diésel o gasolina; al uso de tecnologías térmico solares para el calentamiento de agua; entre otros.

Los patrocinadores aeroportuarios pueden financiar los proyectos VALE utilizando Cargos por Instalaciones para Pasajeros (PFC) o por medio de subvenciones al Programa de Mejoramiento del Aeropuerto (AIP).



Figura 3 - Programa VALE

Uno de los casos de estudio del programa VALE fue la electrificación de GSE en el Aeropuerto Internacional de Filadelfia (2008). La ciudad local se asoció con US Airways y United Airlines con el fin de reemplazar 228 vehículos de apoyo en tierra de propulsión convencional por vehículos eléctricos. La FAA otorgó un total de U\$7.9 millones en fondos VALE para llevar a cabo las actualizaciones necesarias de la infraestructura

(compra e instalación de cargadores), mientras que las aerolíneas debieron hacerse cargo de la compra de los eGSE [4].

### 5.2.3 CORSIA

La iniciativa por parte de la OACI fue el programa **CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)**. El mismo plantea un cronograma en 3 fases con el objetivo de lograr un crecimiento neutro en carbono a partir del 2020 y reducir las emisiones netas a la mitad en 2050 respecto a los niveles del 2005.

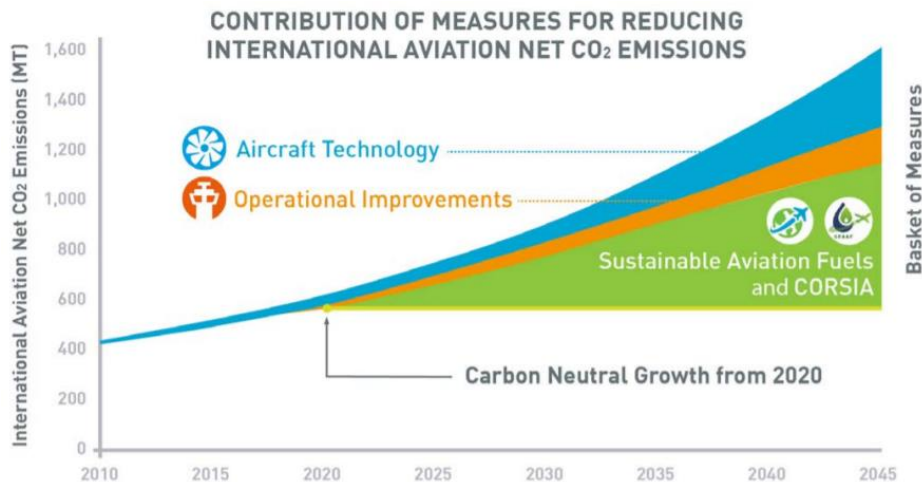


Figura 4 - Cronograma de reducción de carbono del programa CORSIA

Para alcanzar los objetivos planteados será necesaria la implementación de nuevas tecnologías, la optimización de las operaciones aeroportuarias (tanto de las aeronaves como de los vehículos de asistencia en tierra), el uso de combustibles alternativos, la modernización de la infraestructura acorde a los cambios planteados, etc.

### 5.3 Ground Support Equipment (GSE)

Los vehículos de apoyo en tierra o también conocidos como GSE (Ground Support Equipment) tienen como finalidad brindar asistencia a aquellas aeronaves que se encuentran en tierra. Las principales funciones desempeñadas por estos vehículos están ligadas a la movilidad de aeronaves y pasajeros; a las operaciones de carga y descarga, ya sea de equipaje o de cargamento; y a las operaciones de energía en tierra.

Los principales vehículos de apoyo en tierra que se pueden encontrar en un aeropuerto origen-destino designado para realizar operaciones Full Service Carrier (FSC) son:

- Unidad de potencia en tierra (Ground Power Unit)
- Unidad de arranque neumático (Air Start Unit)
- Unidad de aire acondicionado (Air Conditioning Unit)
- Remolcador de aeronaves (Tow Tractor)
- Camión de catering (Catering Truck)



- Vehículo de limpieza (Cleaning Truck)
- Vehículo anticongelante (De-Icing Truck)
- Camión cisterna de combustible (Fuel Hydrant Dispenser or Tanker)
- Vehículo de limpieza de aguas residuales (Lavatory Vehicle)
- Vehículo de abastecimiento de agua potable (Potable Water Vehicle)
- Escalera de pasajeros (Passenger Stairs)
- Vehículo de pasajeros con movilidad reducida (Vehicles for Passengers with Restricted Mobility)
- Bus de pasajeros (Apron Bus)
- Tractor de equipaje (Bulk Train)
- Cinta transportadora (Conveyor Belt)
- Elevador de carga (Cargo Loader)

A modo informativo se hará una breve descripción de cada uno de los GSE mencionados con anterioridad.

### 5.3.1 Unidad de potencia en tierra (GPU)

La unidad de potencia en tierra es un equipo no autopropulsado capaz de suministrar energía eléctrica a aquellas aeronaves que se encuentran en tierra, sin la necesidad de encender los motores. Dicha energía es producida por un generador que transporta la corriente a través de un conector el cual se encuentra estandarizado para todas las aeronaves.



*Figura 5 - Unidad de potencia en tierra (GPU)*

### 5.3.2 Unidad de arranque neumático

La unidad de arranque neumático es un equipo no autopropulsado que permite la puesta en marcha a los motores de la aeronave mediante el suministro de aire

comprimido. El mismo ingresa por medio de mangueras con un caudal determinado y a una presión específica.



Figura 6 - Unidad de arranque neumático

### 5.3.3 Unidad de aire acondicionado

La unidad de acondicionamiento de aire es un equipo no autopropulsado que permite pre-acondicionar el aire de la cabina cuando la aeronave se encuentra en el puesto de estacionamiento.



Figura 7 - Unidad de acondicionamiento de aire

### 5.3.4 Remolcador de aeronaves

El remolcador de empuje suele emplearse en aquellos casos en los que la aeronave no cuenta con el espacio suficiente para maniobrar y ser puesto en marcha de

forma segura. Por esta razón, para evitar poner en peligro la infraestructura y el personal aeroportuario, se desplaza la aeronave desde la puerta de embarque hasta el lugar indicado para que la aeronave pueda propulsarse por sus propios medios.



Figura 8 - Remolcador de aeronaves

### 5.3.5 Camión de catering

El camión de catering brinda el servicio de traslado de alimentos y otros suplementos necesarios para pasajeros y tripulantes de cabina. Estos vehículos suelen transportar el servicio de catering para varias aeronaves. Esto dependerá de la capacidad de almacenamiento de los mismos.

El camión de catering consta de un sistema de elevación cuyo fin es regular su altura dependiendo de la aeronave a la que le brinde servicio. De esta forma se logra un perfecto alineamiento entre el vehículo y la puerta de la aeronave.



Figura 9 - Camión de catering



### 5.3.6 Vehículo de limpieza

El vehículo de limpieza hace referencia al medio de transporte utilizado por los operarios encargados de la limpieza de la cabina de la aeronave. Este será utilizado únicamente en el caso de que la aeronave se encuentre en un puesto de estacionamiento remoto.

Este mismo tipo de vehículo también es empleado para el traslado de tripulantes de cabina o de los operarios a cargo de los vehículos de apoyo en tierra.



Figura 10 - Vehículo de limpieza

### 5.3.7 Vehículo anticongelante

El vehículo anticongelante es utilizado en aquellos aeropuertos en los cuales las temperaturas son tan bajas que hay peligro de congelamiento de fluidos sobre la aeronave. El mecanismo de protección contra hielo consta en rociar un anticongelante por medio de un brazo mecánico que facilita el acceso a toda la aeronave.



Figura 11 - Vehículo anticongelante

### 5.3.8 Camión cisterna de combustible

El camión cisterna de combustible tiene como finalidad el abastecimiento de combustible a las aeronaves. Se trata de un vehículo que cuenta con una gran capacidad de almacenamiento y en el cual el combustible es bombeado al avión haciendo uso de filtros y mangueras. Estos se trasladan desde la planta de combustible del aeropuerto hasta los respectivos puestos de estacionamiento de las aeronaves.



Figura 12 - Camión cisterna de combustible

### 5.3.9 Vehículo de limpieza de aguas residuales

Los desechos generados durante el vuelo son almacenados en un tanque que se encuentra en la parte inferior de la aeronave. El vehículo de limpieza de aguas residuales se encarga de recolectar dichos desechos y transportarlos hasta la planta de tratamiento correspondiente.



*Figura 13 - Vehículo de limpieza de aguas residuales*

### 5.3.10 Vehículo de abastecimiento de agua potable

Los camiones de abastecimiento de agua potable tienen por objeto brindar confiabilidad en la entrega de agua de calidad a una aeronave.

El agua se filtra para eliminar todo tipo de bacterias y luego se almacena en tanques de acero inoxidable. Finalmente, mediante el empleo de una bomba, se logra desplazar el agua del camión a la aeronave para que pueda ser utilizada por pasajeros y tripulantes.





Figura 14 - Vehículo de abastecimiento de agua potable

### 5.3.11 Escalera de pasajeros

Se trata de un vehículo que cuenta con una escalera en su parte trasera y cuyo fin es facilitar el ascenso y descenso de pasajeros a plataforma. Se emplean únicamente en aquellos casos en los que la aeronave se encuentra en un puesto de estacionamiento remoto y no puede ser conectada con manga o pasarela de acceso.

Existen escaleras de servicio autopropulsadas y no autopropulsadas. En el segundo caso, suelen emplearse tractores para su desplazamiento.



Figura 15 - Escalera de pasajeros



### 5.3.12 Vehículo de pasajeros con movilidad reducida

El vehículo de pasajeros con movilidad reducida es un equipo autopropulsado que tiene como fin la asistencia a aquellas personas que no pueden acceder a las aeronaves por sus propios medios. El mismo posee un sistema de elevación que facilita el ingreso de los pasajeros al avión.



*Figura 16 - Vehículo de pasajeros con movilidad reducida*

### 5.3.13 Bus de pasajeros

El bus permite el desplazamiento de los pasajeros entre la terminal y el puesto de estacionamiento correspondiente, aunque en algunas circunstancias también suele utilizarse para trasladar personas de una terminal a otra. Son empleados únicamente en aquellos casos en los que la aeronave se encuentra en un puesto de estacionamiento remoto.



Figura 17 - Bus de pasajeros

### 5.3.14 Tractor de equipaje

Los tractores de equipaje son vehículos autopropulsados, seguidos por una serie de carros en los cuales se almacena el equipaje a transportar. Son utilizados para trasladar dichos carros, ya sea llenos o vacíos, entre los puestos de estacionamiento de las aeronaves y los hipódromos de carga y descarga de la terminal.

Se trata de los vehículos más demandados dentro de la plataforma. Además del traslado de equipaje, suelen emplearse para el transporte de unidades no autopropulsadas tales como la unidad de potencia en tierra (GPU), la unidad de arranque neumático, la unidad de aire acondicionado, etc.



Figura 18 - Tractor de equipaje

### 5.3.15 Cinta transportadora

Se trata de un vehículo autopropulsado que cuenta con una cinta transportadora en su parte trasera y cuyo fin es la carga y descarga de equipaje de la aeronave. La cinta se posiciona sobre el borde inferior del compartimiento de equipaje y se desliza facilitando así el ingreso y el egreso de maletas a la bodega.



*Figura 19 - Cinta transportadora*

### 5.3.16 Elevador de carga

Los elevadores de carga son vehículos autopropulsados utilizados netamente en las operaciones de transporte de carga. Los mismos son empleados para la carga y descarga de contenedores.

Dichas equipos cuentan con un sistema de elevación que permite el alineamiento entre el vehículo y el compartimiento de carga, así como también de rodillos incorporados que facilitan el desplazamiento de los contenedores dentro y fuera de la bodega.





Figura 20 - Elevador de carga

## 5.4 Contaminantes gaseosos asociados a la operación aeroportuaria

Los emplazamientos aeroportuarios cuentan con una gran diversidad de vehículos que circulan diariamente por las instalaciones del predio. Las aeronaves, automóviles, camionetas y otros equipos que operan en los mismos generan aporte contaminante como resultado de la combustión.

El principal objetivo en este apartado es identificar los contaminantes producidos por los vehículos de asistencia en tierra (GSE), así como también indicar el impacto asociado a cada uno de ellos.

A continuación se presenta una tabla en la cual se identifican los principales contaminantes gaseosos emitidos en un emplazamiento aeroportuario.

EMISIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTES DE EMISIÓN	IMPACTO
$CO_2$	El dióxido de carbono es el producto de una combustión completa de un combustible como gasolina, diésel. El carbono del combustible se combina con el oxígeno del aire y produce $CO_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CAMBIO CLIMÁTICO
$H_2O$	El vapor de agua es el otro producto de la combustión completa. El hidrógeno del combustible se combina con el oxígeno del aire y se produce $H_2O$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CAMBIO CLIMÁTICO

EMISIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTES DE EMISIÓN	IMPACTO
$NO_x$	El óxido de nitrógeno se produce cuando el aire pasa a través de una combustión a alta temperatura y alta presión, y el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire se combinan para formar $NO_x$ . Contribuye a la formación de ozono y a la formación de material particulado secundario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CAMBIO CLIMÁTICO CALIDAD DEL AIRE
$HC$	Los hidrocarburos representan el combustible desperdiciado o no quemado producto de la combustión incompleta y la evaporación de combustibles derivados del petróleo. Estos contaminantes son referidos como hidrocarburos no quemados (UHC) o componentes orgánicos volátiles (VOCs). Algunos componentes en las emisiones de hidrocarburos son tóxicos y peligrosos (HAPs). Contribuye a la formación de ozono.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CALIDAD DEL AIRE
$CH_4$	El metano es el más básico de los hidrocarburos. Las aeronaves comerciales son la fuente de mayor emisión de metano durante la etapa de crucero y no están listadas en la columna de las fuentes de emisión. El impacto neto del metano de las fuentes de emisión del aeropuerto es altamente dependiente de las circunstancias locales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CALIDAD DEL AIRE

EMISIÓN	DESCRIPCIÓN	FUENTES DE EMISIÓN	IMPACTO
<i>CO</i>	El monóxido de carbono es un gas producido durante la combustión incompleta. Contribuye a la formación de ozono. Las mayores fuentes de emisión son los motores en marcha (ralentí) y en baja velocidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CALIDAD DEL AIRE
<i>SO<sub>x</sub></i>	Los óxidos de sulfuro son producidos cuando pequeñas cantidades de sulfuro, presentes esencialmente en todos los combustibles derivados del petróleo, se combinan con el oxígeno del aire durante la combustión. Contribuye a la formación de material particulado secundario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CAMBIO CLIMÁTICO CALIDAD DEL AIRE
<i>PM</i>	El material particulado no volátil hace referencia a las pequeñas partículas de hollín que se forman como resultado de una combustión incompleta y de aerosoles de gases condensados, los cuales son lo suficientemente pequeños para ser inhalados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AERONAVES</li> <li>• APU</li> <li>• <b>VEHÍCULOS DE ASISTENCIA EN TIERRA (GSE)</b></li> <li>• VEHÍCULOS</li> <li>• PLANTAS DE POTENCIA ESTACIONARIAS</li> <li>• EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN</li> </ul>	CAMBIO CLIMÁTICO CALIDAD DEL AIRE

Tabla 1 - Emisiones gaseosas producidas por la aviación (Fuente: [5])

De la tabla mostrada previamente se observa que los vehículos de asistencia en tierra producen todo tipo de contaminantes. Sin embargo, en el presente informe solo serán contemplados los denominados “contaminantes base” en lo que respecta a la calidad del aire, es decir, monóxido de carbono (*CO*), hidrocarburos (*HC*) y óxidos de nitrógeno (*NO<sub>x</sub>*). Estos son los establecidos por la EPA (Environmental Protection

Agency) y la OACI como contaminantes primarios, cuyas concentraciones afectan directamente a los seres vivos.

## 5.5 Electric Ground Support Equipment (eGSE)

Los emplazamientos aeroportuarios suelen estar ubicados en áreas metropolitanas, debiendo cumplir con determinados estándares de calidad de aire. De aquí el compromiso de los explotadores aeroportuarios y de las aerolíneas para poder cumplir con los estándares locales. Bajo este concepto es que se intentan reducir las emisiones gaseosas mediante el uso de energías renovables.

El reemplazo de los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos es una de las principales alternativas que surge al plantear este tipo de problemáticas. El bajo mantenimiento y la reducción en el costo del combustible repercuten directamente en los costos del ciclo de vida, mostrando un ahorro sensible en comparación a los vehículos accionados por combustible fósil.

Se expone a continuación una tabla que indica las principales ventajas y desventajas de los vehículos de asistencia en tierra eléctricos en comparación a los vehículos a combustión interna:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor costo de combustible</li><li>• Menor costo de mantenimiento</li><li>• Mayor confiabilidad</li><li>• Reducción de emisión de gases contaminantes en términos de combustible</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elevado costo inicial</li><li>• Bajos ciclos de carga</li><li>• Emisión de gases contaminantes por parte de las baterías</li><li>• Inoperatividad en tiempos de carga</li><li>• Unidades eléctricas no disponibles para algunos GSE</li></ul>

Tabla 2 - Ventajas y desventajas de los eGSE

### 5.5.1 Ventajas

Los GSE eléctricos presentan 3 ventajas principales los cuales serán descriptos en las siguientes secciones.

#### 5.5.1.1 Mantenimiento

Los motores de combustión interna se encargan de transformar la energía química de la combustión en energía mecánica. Para ello hacen uso de diversos componentes móviles que sufren un gran desgaste durante la operación. Sin la adecuada lubricación, la fricción entre las diferentes partes no permitiría la disipación de energía térmica. Por su parte, los motores eléctricos se encargan de extraer la energía química de las baterías en forma de electricidad, para que luego el motor la transforme en energía mecánica. Al tratarse de un proceso más eficiente y con menor desgaste entre componentes, el costo de mantenimiento de los vehículos eléctricos se ve minimizado en comparación a los vehículos de combustión interna.



Otro punto a considerar es la facilidad de diagnóstico. Ante cualquier imperfecto el mismo vehículo es capaz de identificar el problema sin la necesidad de desmontarlo y analizarlo manualmente. Esto hace que los tiempos de inactividad de los eGSE por averías se vean reducidos.

### 5.5.1.2 Confiabilidad

La confiabilidad de los eGSE está asociada a la capacidad del vehículo para realizar una tarea que tenía programada en el momento que era requerido.

Los motores de combustión interna son cada vez menos fiables en condiciones de temperatura extrema. En el caso de los motores eléctricos, la temperatura límite está impuesta por los bobinados. Si bien ambos motores funcionan de forma similar bajo condiciones de calor extremo, los eléctricos se desenvuelven mejor en condiciones de frío extremo.

Sumado a esto, el hecho de que los vehículos eléctricos requieran menos mantenimiento hace que los tiempos de inactividad de los vehículos sean menores, pudiendo hacer uso de ellos cuando sea necesario.

### 5.5.1.3 Combustible

Uno de los beneficios más significativos de los eGSE es el ahorro de combustible. Para poder comparar con exactitud el costo de combustible de un vehículo eléctrico con uno de combustión interna, deberán tenerse en cuenta diversos factores: el costo de la electricidad, el costo de almacenamiento de combustible o baterías y la eficiencia del cargador.

El costo de la electricidad es el más fácil de analizar. Por medio de un medidor de utilización se podría determinar el consumo de los eGSE durante sus operaciones diarias. Luego, sabiendo el costo del  $Kw/h$  se obtendría el costo proveniente de la red eléctrica.

Los GSE eléctricos suelen funcionar con baterías de plomo-acido. Estas deben ser contempladas en el cálculo del costo de combustible dado que se trata de un consumible con una vida útil.



Figura 21 - Batería de plomo-ácido (izquierda) y compartimiento baterías del elevador de carga JBT Aerotech C15 (derecha) [6]

Finalmente, el componente crítico en el cálculo es la eficiencia de los cargadores. Estos se encargan de convertir la corriente alterna en corriente continua para poder abastecer a las baterías. En los emplazamientos aeroportuarios se pueden distinguir cargadores convencionales o de carga rápida. Cada uno de ellos tiene un índice de eficiencia asociado, el cual define la cantidad de energía que se transfiere a la batería. Dicha eficiencia puede variar entre el 65% y el 95% [7].

### 5.5.2 Desventajas

La principal desventaja de los eGSE está asociada con los tiempos de inactividad durante los períodos de carga. El hecho de que un equipo esté disponible cuando se lo requiere resulta fundamental si no se quiere ver comprometida la operatividad de un emplazamiento aeroportuario.

En ciertas ocasiones las aerolíneas han optado por incrementar la capacidad de las baterías en vías de mejorar la autonomía de los vehículos. Sin embargo, un aumento en el tamaño de las mismas podría aportar más problemas debido al peso adicional (se generan tensiones en la estructura).

Hay que tener presente que las baterías de plomo-ácido no presentan altos ciclos de carga. Esto se debe a que las mismas se fatigan perdiendo capacidad de carga con el uso. A su vez, al tratarse de una unidad de baterías, si falla una de ellas termina afectando el rendimiento de las vecinas haciendo que sea necesario cambiar el conjunto.

Otro punto a destacar es que las baterías de plomo-ácido son muy contaminantes. Si bien en el presente informe se busca evidenciar la reducción de emisiones generadas por la combustión de los vehículos, no debe dejarse de lado la emisión propia de las baterías.

En el pasado, el uso de cargadores convencionales generó ciertas restricciones en cuanto al nivel de operaciones que podían desempeñar los vehículos. Fue ante la aparición de los cargadores rápidos que la electrificación de los GSE se volvió viable para las aerolíneas.

## 6 Metodología general

La metodología de aplicación fue desarrollada en torno al objetivo propuesto. Para ello se plantearon una serie de lineamientos que concluyeron en el siguiente esquema conceptual:



Figura 22 – Esquema de la metodología general

Si bien se trata de una metodología de carácter secuencial, el análisis de la flota operativa puede realizarse en paralelo con la caracterización de los vehículos de asistencia en tierra.

A continuación, se hará un análisis detallado de cada uno de los puntos mencionados en el esquema previo.

### 6.1 Análisis de la flota operativa

El punto de partida de la metodología es el análisis de los movimientos de las aeronaves en emplazamientos aeroportuarios.

Teniendo en cuenta que la cantidad de vehículos de asistencia en tierra varía dependiendo del tipo de aeronave, se lleva a cabo un análisis de la flota operativa interviniente en una semana tipo. El análisis en cuestión, consta en la caracterización de las aeronaves según tipo de servicio:

- Vuelo origen-destino con pasarela (FSC)
- Vuelo origen-destino con puesto remoto (FSC)
- Vuelo en escala con pasarela (FSC)

- Vuelo en escala con puesto remoto (FSC)
- Vuelo low cost carrier (LCC)

La identificación del tipo de servicio permite identificar qué vehículos GSE intervienen en cada proceso.

Se habla de vuelo origen-destino cuando en el lugar de destino se lleva a cabo un intercambio total de pasajeros, carga y combustible. En el vuelo en escala o con conexión, el intercambio de pasajeros, carga y combustible se realiza de forma parcial y, a diferencia del primero, no cuenta generalmente con limpieza de cabina, abastecimiento de agua potable y servicio de aguas residuales.

Los vuelos low-cost o vuelos de bajo costo se caracterizan por su eficiencia en términos de reducción de tiempos operativos. Esto repercute en una disminución de costos dado por el menor tiempo de manejo de los vehículos de asistencia en tierra. A su vez, los vuelos LCC presentan menos servicios que los vuelos regulares. Los pasajeros abordan por medio de escaleras para evitar cargos aeroportuarios relacionados con el uso de pasarelas; las aeronaves cuentan con escaleras a bordo para evitar el retraso en la colocación de escaleras móviles y para generar una reducción de gastos; los puestos de estacionamiento se ubican a poca distancia de la terminal para evitar el uso de buses; el menor consumo de alimentos dado por la falta de servicio de catering repercute en prescindir de vehículos de limpieza [8].

En el caso de ser requerido, todas las aeronaves dispondrán de vehículos para pasajeros con movilidad reducida y de vehículos anticongelantes. La disponibilidad de los vehículos PRM está sujeta a la anticipación con la que se haya solicitado el servicio, mientras que la disponibilidad de vehículos anticongelantes está asociada a las condiciones climáticas en las cuales se encuentre inmerso el emplazamiento aeroportuario.

A continuación se muestra una tabla resumen en donde se identifican los diferentes vehículos de asistencia en tierra intervinientes según el tipo de servicio que brinde la aeronave.

GSE	FULL SERVICE CARRIER				LOW COST
	ORIGEN-DESTINO		EN ESCALA		
	PASARELA	REMOTO	PASARELA	REMOTO	
CATERING TRUCK	✓	✓	✓	✓	-
CLEANING TRUCK	-	✓	-	-	-
DE-ICING TRUCK	✓	✓	✓	✓	✓
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	✓	✓	-	-	✓
LAVATORY VEHICLE	✓	✓	-	-	✓
POTABLE WATER VEHICLE	✓	✓	-	-	✓
BULK TRAIN	✓	✓	✓	✓	✓
CONVEYOR BELT	✓	✓	✓	✓	✓
GROUND POWER UNIT	✓	✓	✓	✓	-

GSE	FULL SERVICE CARRIER				LOW COST
	ORIGEN-DESTINO		EN ESCALA		
	PASARELA	REMOTO	PASARELA	REMOTO	
APRON BUS	-	✓	-	✓	-
PASSENGER STAIRS	-	✓	-	✓	-
PRM VEHICLES*	-	✓	-	✓	✓
TOW TRACTOR	✓	✓	✓	✓	-

*\*Vehicles for passengers with restricted mobility*

Tabla 3 - Identificación de vehículos GSE por servicio

Se observa que los GPU son utilizados sin diferenciar el uso de pasarela o puesto remoto. Esta situación podría revertirse en el caso de que la pasarela telescópica cuente con servicio de energía eléctrica.

Por otra parte, se debe especificar el tipo de fuselaje de las aeronaves que se encuentran operativas en el período de análisis. Esto se debe a que las aeronaves de fuselaje angosto (narrow body) requieren tiempos operativos de menor magnitud en comparación a las aeronaves de fuselaje ancho (wide body).

## 6.2 Caracterización de los vehículos de asistencia en tierra

Como punto de partida es necesario identificar a las diversas compañías prestadoras de servicio en rampa en el aeropuerto. Un análisis de los servicios brindados por las mismas es requerido para poner en contexto a los diferentes tipos de vehículos de asistencia en tierra.

La caracterización de los GSE resulta primordial a la hora de determinar el aporte contaminante generado por los mismos. Por esta razón es necesario llevar a cabo un relevamiento en el predio, con el objeto de identificar aquellos vehículos que se encuentran operativos (en actividad) y así poder confeccionar un inventario acorde a la realidad actual del emplazamiento aeroportuario. Dicho inventario debe indicar los diferentes tipos de GSE (ver 5.3) con sus respectivas especificaciones técnicas.

A su vez, para comprender mejor los tiempos de autonomía de los vehículos a combustión interna es necesario profundizar en los tiempos de agotamiento del combustible y sus tiempos de carga.

### 6.2.1 Tiempos de carga y de agotamiento de combustible

Un parámetro de gran interés para poder determinar los tiempos de agotamiento del combustible es la potencia media. A continuación, se detallan los pasos necesarios para su determinación.

#### 6.2.1.1 Determinación de la potencia media

Para el hallazgo de la potencia media se propone el uso de factores de carga. Estos factores son definidos como la relación entre la potencia de salida y la potencia

nominal. Se trata de un indicador de la cantidad de trabajo realizado, en promedio, por un motor en una particular aplicación, dada como una fracción de la potencia nominal.

El procedimiento consiste en determinar los factores de carga para las distintas etapas de funcionamiento:

- Modo manejo: Circulación en plataforma.
- Modo operativo: Espera, conexión, servicio y desconexión (tanto para carga como para descarga).

Los factores de carga correspondientes al modo manejo se determinaron mediante el uso de una formulación empírica [9] que permite estimar la potencia instantánea de un vehículo. Dicha formulación contempla las principales fuerzas que se oponen a la tracción del mismo ( $F_T$ ), es decir, la resistencia aerodinámica ( $R_A$ ), la resistencia a la rodadura ( $R_R$ ) y la resistencia por pendiente ( $R_P$ ).

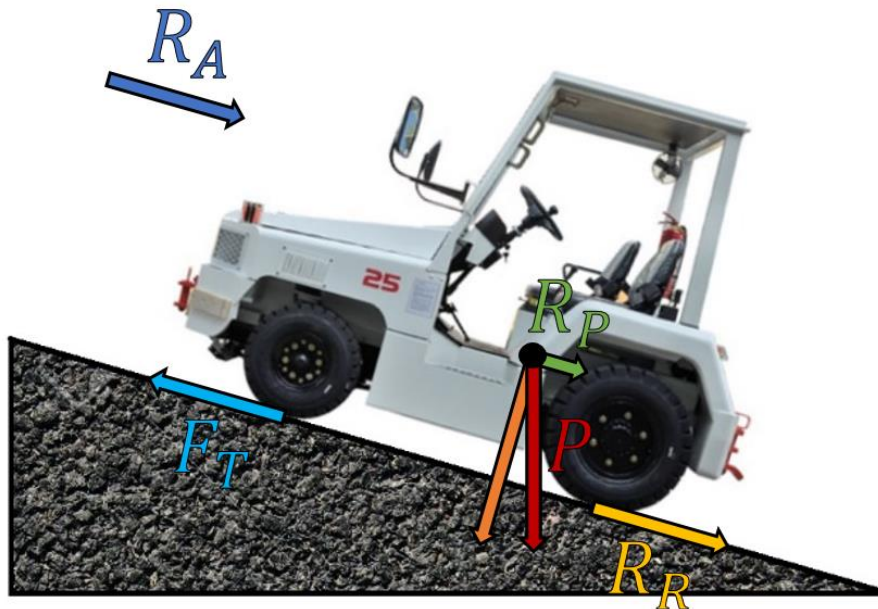


Figura 23 - Fuerza de tracción y resistencias asociadas

Cuando un vehículo se desplaza, la parte frontal experimenta un aumento de presión generada por el impacto del aire y la parte posterior experimenta un efecto de succión que se agudiza con la velocidad. La resistencia aerodinámica hace alusión a la carga resultante de la presión aerodinámica generada por el desplazamiento del vehículo.

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A_F \cdot v^2$$

Ecuación 1 - Resistencia aerodinámica

Dónde,

$R_A$  [N]: Resistencia aerodinámica.



$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ : Densidad del aire.

$C_D$  [*adimensional*]: Coeficiente de resistencia del vehículo.

$A_F$  [ $m^2$ ]: Área frontal del vehículo.

$v \left[ \frac{m}{s} \right]$ : Velocidad del vehículo en el instante de tiempo  $t$ .

La resistencia a la rodadura hace referencia a la fuerza que se opone al movimiento de rodadura. La misma se produce cuando la rueda, al rodar, o la superficie sobre la que se apoya se han deformado por las grandes presiones que existen en la zona de contacto entre el neumático y el suelo.

$$R_R = F_{RL} \cdot m \cdot g$$

*Ecuación 2 - Resistencia a la rodadura*

Dónde,

$R_R$  [ $N$ ]: Resistencia a la rodadura.

$F_{RL}$  [*adimensional*]: Coeficiente de resistencia a la rodadura.

$m$  [ $kg$ ]: Masa del vehículo.

$g \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ : Aceleración de la gravedad.

La resistencia por pendiente hace referencia al incremento de fuerza producto de las inclinaciones del terreno. Cuando un vehículo se desplaza por un plano inclinado, se dificulta la ascensión a causa de la oposición de una componente de su peso. Esta fuerza de resistencia se aplica en el centro de gravedad del vehículo.

$$R_P = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

*Ecuación 3 - Resistencia por pendiente*

Dónde,

$R_P$  [ $N$ ]: Resistencia por pendiente.

$\theta$  [ $^\circ$ ]: Ángulo del terreno.

Aplicando la segunda ley de Newton sobre el vehículo, se tiene que:

$$\sum F = F_T - R_A - R_R - R_P = m \cdot a$$

*Ecuación 4 - Balance de fuerzas en el vehículo*

Dónde,

$a \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ : Aceleración del vehículo en el instante de tiempo  $t$ .

Despejando la incógnita de interés:

$$F_T = m \cdot a + R_A + R_R + R_P$$

*Ecuación 5 - Fuerza de tracción del vehículo*

Por ende, la ecuación representativa de la potencia instantánea es la siguiente:

$$P = F_T \cdot v = \left( m \cdot a + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A_F \cdot v^2 + F_{RL} \cdot m \cdot g + m \cdot g \cdot \sin \theta \right) \cdot v$$

*Ecuación 6 - Formulación empírica de la potencia instantánea de un vehículo*

Un relevamiento de los principales parámetros de los vehículos GSE será necesario para el cálculo (masa, área frontal, coeficiente de resistencia, coeficiente de resistencia a la rodadura, etc.).

Para la estimación de la potencia instantánea se proponen tiempos de circulación de 60 segundos. A su vez se asume una variación lineal de la velocidad hasta alcanzar los 20 km/h (máxima velocidad admisible en plataforma), y para evitar exigencias en el motor, la aceleración fue ajustada de forma tal que la potencia requerida en el momento en el que se da el pico de aceleración no supere el 80% de la potencia máxima.

Una vez calculada la potencia para cada tiempo discretizado se procede a realizar el promedio de los valores obtenidos y se determina el porcentaje de potencia máxima puesto en juego durante la circulación en plataforma. De esta forma quedan definidos los factores de carga del modo manejo.

En cuanto a los factores de carga correspondientes al modo operativo, son extraídos de [10]. En el mismo se hace uso de la base de datos del software EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System) y se propone una discretización según carga y descarga para las diferentes etapas.

Definidos los factores de carga del modo manejo y del modo operación para carga y descarga, se lleva a cabo un promedio para dar lugar al factor de carga medio.

$$fc_{medio} = \frac{\sum_1^r fc_{rt}}{r}$$

*Ecuación 7 - Factor de carga medio*

Dónde,

$fc_{rt}$  [*adimensional*]: Factor de carga  $r$  del equipo GSE  $t$ .

$r$ : Cantidad de factores de carga contemplados en el promedio.

En el caso de las cintas transportadoras, tractores de equipaje, buses y escaleras de pasajeros, el factor de carga medio contempla: la circulación en plataforma previa a la carga y descarga y sus operaciones correspondientes.

$$f_{c_{medio_t}} = \frac{\left(f_{c_{manejo_t}} + f_{c_{espera_t}} + f_{c_{conexión_t}} + f_{c_{servicio_t}} + f_{c_{desconexión_t}}\right)_{carga\ y\ descarga}}{10}$$

*Ecuación 8 - Factor de carga medio para cintas, tractores, buses y escaleras*

Dónde,

$f_{c_{medio_t}}$  [**adimensional**]: Factor de carga medio del equipo GSE  $t$ .

En el caso de los camiones de catering, vehículos de abastecimiento de agua potable y vehículos de limpieza de aguas residuales, el factor de carga medio contempla: la circulación en plataforma, la operación de descarga y el servicio de la operación de carga.

$$f_{c_{medio_t}} = \frac{f_{c_{manejo_t}} + \left(f_{c_{espera_t}} + f_{c_{conexión_t}} + f_{c_{servicio_t}(descarga)} + f_{c_{servicio_t}(carga)} + f_{c_{desconexión_t}}\right)}{6}$$

*Ecuación 9 - Factor de carga medio para camiones de catering, vehículos de abastecimiento de agua potable y de aguas residuales*

Dónde,

$f_{c_{medio_t}}$  [**adimensional**]: Factor de carga medio del equipo GSE  $t$ .

Finalmente, el factor de carga medio empleado para los camiones cisterna de combustible y los remolcadores de aeronaves contempla: la circulación en plataforma y la operación de descarga.

$$f_{c_{medio_t}} = \frac{\left(f_{c_{manejo_t}} + f_{c_{espera_t}} + f_{c_{conexión_t}} + f_{c_{servicio_t}} + f_{c_{desconexión_t}}\right)_{carga}}{5}$$

*Ecuación 10 - Factor de carga medio para camiones cisterna y remolcadores de aeronaves*

Dónde,

$f_{c_{medio_t}}$  [**adimensional**]: Factor de carga medio del equipo GSE  $t$ .

Una vez establecidos dichos factores, se podrá estimar la potencia media del vehículo  $t$  a partir de la siguiente expresión:

$$P_{med_t} = f_{c_{medio_t}} \cdot P_{máx_t}$$

*Ecuación 11 - Estimación de la potencia media*

Dónde,

$P_{med_t}$  [**kW**]: Potencia media del equipo GSE  $t$ .

$P_{máx_t}$  [**kW**]: Potencia máxima del equipo GSE  $t$ .

Finalmente, los tiempos de agotamiento de combustible asociados a cada uno de los vehículos, pueden ser calculados mediante la siguiente expresión [11]:

$$T_{AC_t} = \frac{\text{Litros}_{comb_t} \cdot 1000 \cdot \rho_{diésel}}{C_{comb} \cdot P_{med_t}}$$

*Ecuación 12 - Tiempos de agotamiento de combustible*

Dónde,

$T_{AC_t}$  [h]: Tiempo de agotamiento de combustible del equipo GSE t.

$\text{Litros}_{comb_t}$  [litros]: Capacidad de almacenamiento de combustible del equipo GSE t.

$\rho$  [kg/litros]: Densidad del diésel.

$C_{comb}$   $\left[\frac{g_{diésel}}{kW.h}\right]$ : Consumo de combustible por potencia.

$P_{med_t}$  [kW]: Potencia media del equipo GSE t.

En cuanto a los tiempos de carga de combustible, la expresión está íntimamente relacionada con la capacidad de almacenamiento de los vehículos y el caudal de entrada brindado por el sistema de provisión de combustible:

$$T_{CC_t} = \frac{\text{Vol}_{comb_t}}{A_{manguera} \cdot v_{flujo}}$$

*Ecuación 13 - Tiempos de carga de combustible*

Dónde,

$T_{CC_t}$  [h]: Tiempo de carga de combustible del equipo GSE t.

$\text{Vol}_{comb_t}$  [ $m^3$ ]: Volumen del tanque de combustible del equipo GSE t.

$A_{manguera}$  [ $m^2$ ]: Área de la manguera de aprovisionamiento de combustible.

$v_{flujo}$  [m/s]: Velocidad de salida del flujo de combustible.

### 6.3 Determinación de recorridos y tiempos de circulación/operativos de los GSE

La determinación de los recorridos de los equipos depende en gran medida de la ubicación de la base de carga de combustible. La misma debe ser emplazada estratégicamente, de forma tal que los equipos recorran las mínimas distancias posibles.

La caracterización de una plataforma no solo está asociada a la configuración geométrica e identificación de puestos de estacionamiento para aeronaves, sino también a la identificación de puestos de estacionamiento GSE y sus respectivas bases

de carga de combustible o electricidad. La elección de esta última deberá estar justificada.

Los emplazamientos aeroportuarios cuentan con diversas áreas destinadas al estacionamiento y a la circulación de vehículos de apoyo en tierra. Identificar la disposición de estos puestos de estacionamiento y las zonas permitidas para la circulación resulta de gran importancia ya que permite la determinación de las trayectorias asociadas a cada uno de los vehículos. Dicha caracterización deviene beneficiosa para la estimación de los tiempos de circulación en plataforma.

Los sectores destinados a las operaciones de handling son los siguientes:

- **VÍAS DE SERVICIO:** Calles ubicadas en la zona restringida del recinto aeroportuario y destinadas a permitir el movimiento seguro de vehículos y equipos.
- **ÁREA DE ESTACIONAMIENTO DE EQUIPOS (EPA):** Área cerrada utilizada para el estacionamiento de equipos handling.
- **ÁREA DE RESTRICCIÓN DE EQUIPOS (ERA):** Área cerrada en la que se estaciona una aeronave para ser atendida por los equipos handling. Dicha zona no puede ser ocupada por ningún equipo ni persona durante las maniobras de la aeronave (excepto el necesario para la maniobra).
- **ÁREA DE ESPERA DE EQUIPOS (ESA):** Área exterior al área restringida de equipos (ERA) utilizada para que los GSE que van a atender una aeronave esperen hasta que éste se haya detenido y comience el proceso handling.
- **ÁREA DE PROHIBICIÓN DE APARCAMIENTO (NPA):** Área específica totalmente prohibida para el estacionamiento de equipos. Este sector suele estar destinado al movimiento de la cabeza de la pasarela de acceso.

A continuación, se presenta un esquema en el cual se identifican las áreas mencionadas con anterioridad:



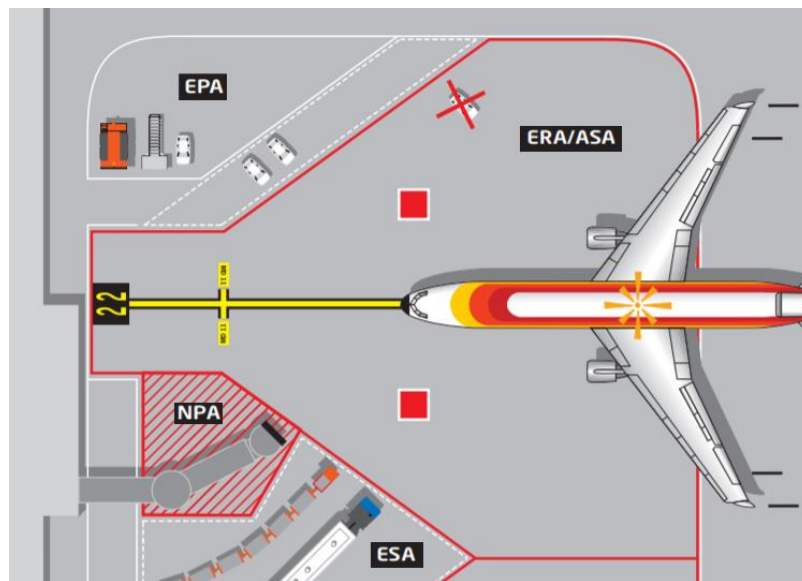


Figura 24 - Áreas de estacionamiento GSE (Fuente: [12])

Cabe destacar que las distancias de circulación de los GSE son diferentes para cada procedimiento operacional. Por esta razón se identifica que distintos grupos vehiculares GSE pueden realizar procedimientos similares de circulación en plataforma [11].

TIPO DE PROCEDIMIENTO	GRUPO GSE	TRAYECTORIA
A	Tractor GPU, ASU y ACU Remolcador de aeronaves Escalera de pasajeros Cinta transportadora Elevador de carga	Entre áreas de espera (ESA) de acuerdo a sus tiempos de servicio por aeronave.
B	Vehículo de pasajeros con movilidad reducida Bus de pasajeros Tractor de equipaje	Entre los puestos de estacionamiento para aeronaves y el área de operación correspondiente.
C	Camión de catering Camión cisterna de combustible Vehículo de limpieza de aguas residuales Vehículo de abastecimiento de agua potable	Desde áreas de estacionamiento fijas fuera de plataforma, hacia la primera aeronave que requiera servicio, y luego entre áreas de espera (ESA).

Tabla 4 - Trayectorias por tipo de procedimiento

En el tipo de procedimiento A los equipos circulan entre áreas de espera (ESA). La secuencia de circulación en plataforma depende de la disponibilidad de cada grupo vehicular de servicio.

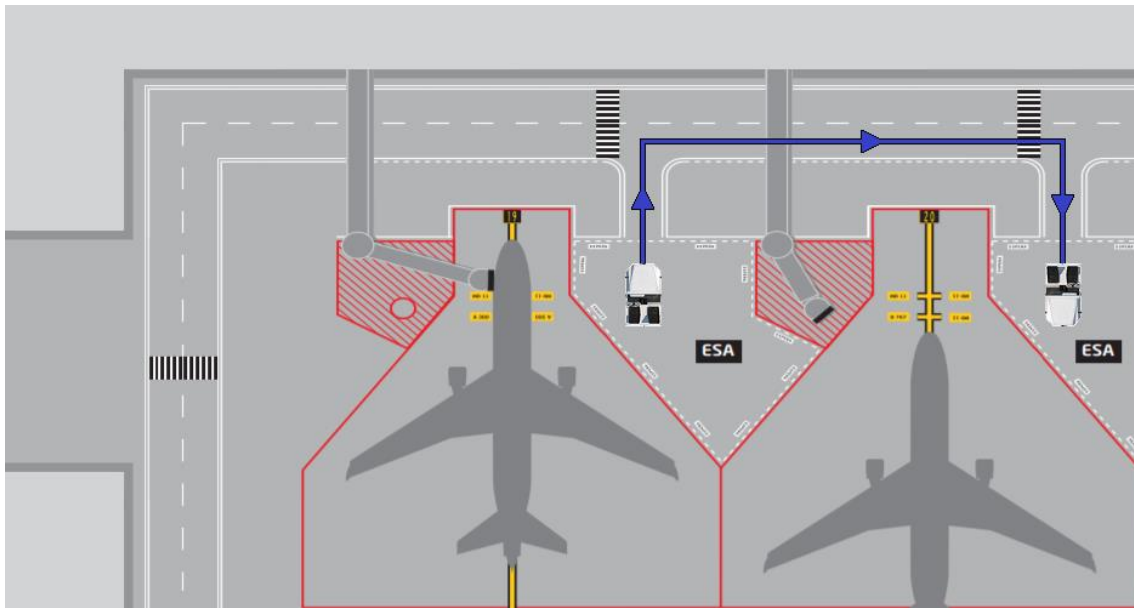


Figura 25 - Procedimiento tipo A

En el tipo de procedimiento B los equipos circulan entre un área de operaciones fija en plataforma y los puestos de aeronaves en donde deben brindar asistencia.

Cuando se utilizan puestos de estacionamiento remotos alejados de la estación terminal, se hace indispensable el uso de buses para trasladar a los pasajeros. Dichos vehículos se desplazan entre los puestos de aparcamiento de aeronaves y el sector destinado a los arribos domésticos e internacionales (base de operación). En el caso de los tractores de equipaje, la base de operación estaría representada por los hipódromos de carga y descarga de equipaje.

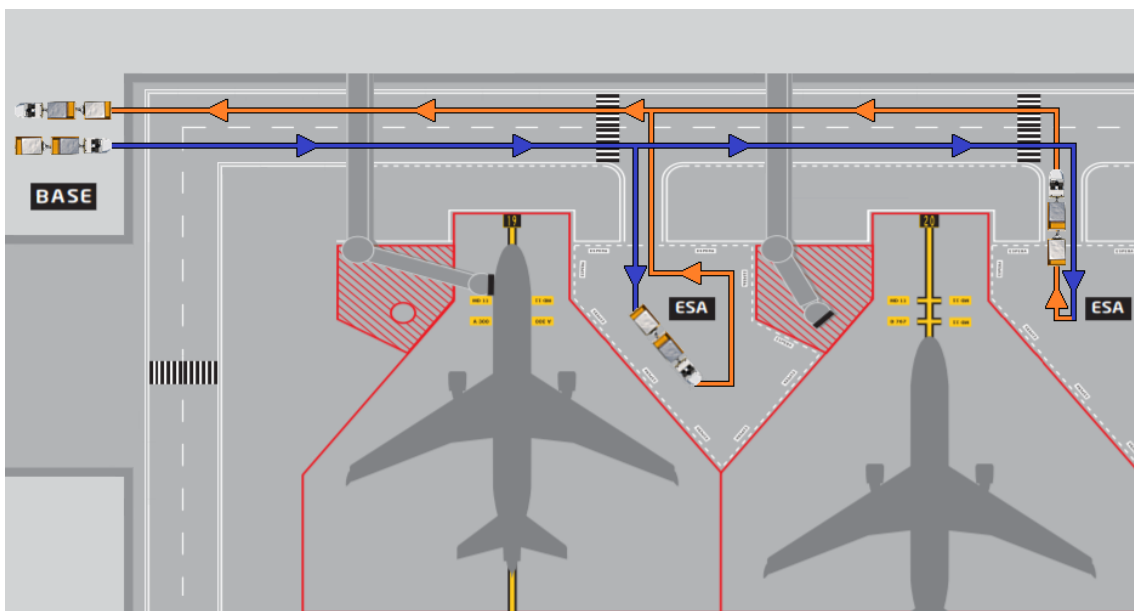


Figura 26 - Procedimiento tipo B

En el tipo de procedimiento C los equipos circulan desde áreas fijas de operación ubicadas fuera de plataforma, hacia el puesto de estacionamiento en la que se encuentra la primera aeronave a la que deben asistir. Luego, este mismo vehículo se desplaza entre áreas de espera (ESA) buscando brindar la mayor cantidad de servicios posibles, en base a la capacidad de carga de cada vehículo.

Los camiones de catering se encuentran dispuestos en las plantas de catering que prestan servicio en el aeropuerto; los camiones cisterna de combustible tienen puestos de estacionamiento asignados en las cercanías de la planta de combustible; los vehículos de limpieza de aguas residuales y de abastecimiento de agua potable se localizan en las plantas de tratamiento correspondientes.

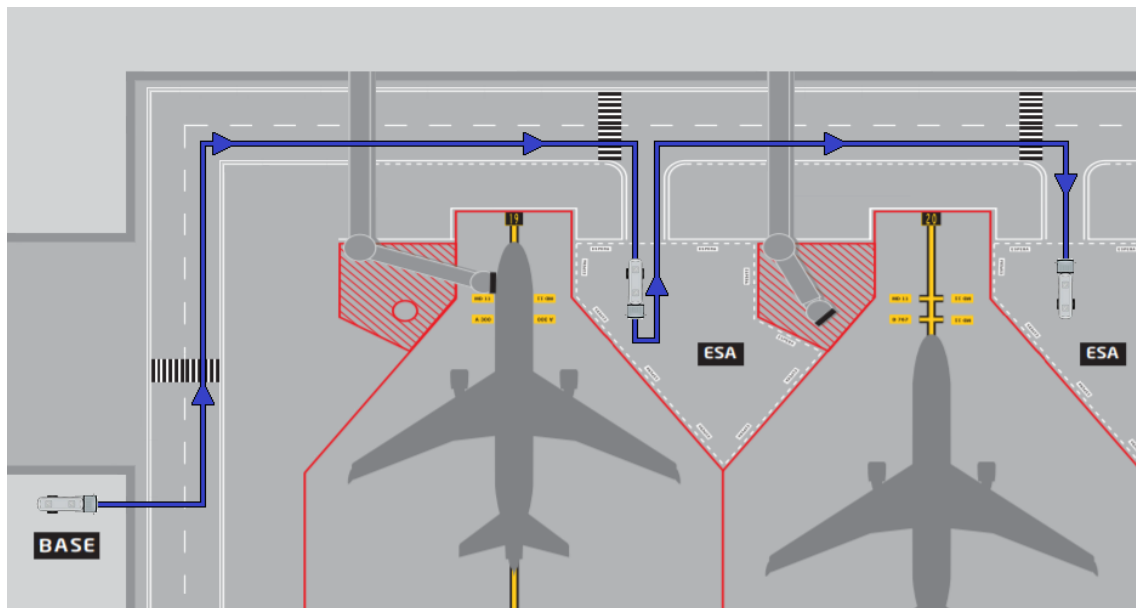


Figura 27 - Procedimiento tipo C

Una vez definidas las trayectorias, se pueden aproximar los tiempos de circulación a partir de la siguiente expresión:

$$t_{T_{n_t}} = t_a + t_f + \frac{T_{n_t} - t_a \cdot \frac{v_t}{2} - t_f \cdot \frac{v_t}{2}}{v_t}$$

Ecuación 14 - Tiempo de circulación en plataforma

Dónde,

$t_{T_{n_t}}$  [s]: Tiempo de circulación según trayectoria  $n$  del equipo GSE  $t$ .

$t_a$  [s]: Tiempo en que el equipo GSE  $t$  alcanza la velocidad de circulación en plataforma.

$t_f$  [s]: Tiempo de frenado del equipo GSE  $t$ .

$T_{n_t}$  [m]: Trayectoria  $n$  del equipo GSE  $t$ .

$v_t \left[ \frac{m}{s} \right]$ : Velocidad de circulación en plataforma del equipo GSE  $t$ .

Esta expresión considera los tiempos de aceleración y frenado obtenidos en el cálculo de la potencia instantánea (ver **6.2.1.1**), así como también los tiempos del tramo lineal en donde no hay variación de velocidad.

En el caso de que las distancias sean muy cortas y el vehículo no llegue a acelerar hasta la velocidad en plataforma, la expresión a utilizar es la siguiente:

$$t_{T_{n_t}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot T_{n_t}}{a_t}}$$

*Ecuación 15 - Expresión alternativa tiempo de circulación en plataforma*

Dónde,

$t_{T_{n_t}} [s]$ : Tiempo de circulación según trayectoria  $n$  del equipo GSE  $t$ .

$T_{n_t} [m]$ : Trayectoria  $n$  del equipo GSE  $t$ .

$a_t \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ : Aceleración del equipo GSE  $t$ .

Por otra parte, se requiere de la medición de los tiempos operativos. Los mismos hacen referencia a los tiempos de espera, conexión, servicio y desconexión de cada uno de los vehículos de asistencia en tierra. Esto sirve para comprender el procedimiento llevado a cabo por los GSE en términos operativos.

### 6.3.1 Determinación de la cantidad óptima de GSE

Una vez establecidos los tiempos de circulación y servicio, se deben analizar los movimientos del aeropuerto correspondiente para determinar qué operaciones puede realizar un mismo grupo vehicular de servicio. A su vez, teniendo en cuenta los tiempos de carga y de agotamiento del combustible, se puede determinar la cantidad óptima de vehículos mediante el armado de diagramas de Gantt.

## 6.4 Determinación del aporte contaminante gaseoso de los GSE

Ya definidas las rutas de circulación y los procedimientos de actuación de los vehículos GSE en relación con los movimientos de las aeronaves, se procede a determinar el aporte contaminante gaseoso por medio de una formulación empírica proveída por el Documento 9889 de la OACI [3].

La emisión de cada contaminante según el tipo de vehículo GSE se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E_{i,t} = P_t \cdot FE_{i,t} \cdot f_{d_{i,t}} \cdot (f_{cs_t} \cdot t_{serv} + f_{cc_t} \cdot t_{circ})$$

*Ecuación 16 - Aporte contaminante gaseoso generado por el servicio y la circulación de los GSE*

Dónde,

$E_{i,t}$  [**kg**]: Emisión gaseosa del contaminante  $i$ , respecto del equipo GSE  $t$ .

$P_t$  [**HP**]: Potencia al freno del equipo GSE  $t$ .

$FE_{i,t}$  [ $\frac{gr}{HP.h}$ ]: Factor de emisión del contaminante  $i$ , respecto del equipo GSE  $t$ .

$f_{d,i,t}$  [**adimensional**]: Factor de deterioro del contaminante  $i$  del equipo GSE  $t$ .

$f_{cs_t}$  [**adimensional**]: Factor de carga por servicio del equipo GSE  $t$ .

$f_{cc_t}$  [**adimensional**]: Factor de carga por circulación del equipo GSE  $t$ .

Durante los procedimientos de circulación en plataforma, los vehículos de asistencia en tierra no trabajan a la máxima potencia. Por esta razón se emplean factores de carga que ajustan la potencia al freno de los equipos hasta dar con la potencia media de funcionamiento.

Los factores de emisión representan la cantidad de producto de combustión quemado por unidad de potencia por hora para un vehículo certificado con un motor nuevo, es decir, la cantidad de emisión contaminante en un tiempo determinado de servicio a una determinada potencia de operación. Los mismos son obtenidos de la base de datos del software EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System), el cual contempla el tipo de GSE: modelo y regulación gaseosa por tipo de motor correspondiente. La base de datos se encuentra avalada por la CAEP (Comité de Protección Ambiental de la Aviación).

El factor de deterioro es utilizado para corregir los factores de emisión. Como los motores no son totalmente nuevos, los niveles de emisión aumentan con relación a los años de uso que hayan tenido los equipos.

$$f_d = 1 + A. \left( \frac{GSE_{año}}{GSE_{vida\ útil}} \right)^b$$

*Ecuación 17 - Factor de deterioro*

Dónde,

$GSE_{año}$  [**años**]: Años en servicio del equipo GSE.

$GSE_{vida\ útil}$  [**años**]: Vida útil del equipo GSE.

$A, b$  [**adimensionales**]: Coeficientes de ajuste, dependientes del contaminante gaseoso y del rango de potencia.

De acuerdo al manual de operaciones de rampa, la velocidad máxima de circulación en plataforma es de 20 km/h.



Tal como se ha mencionado en el apartado previo, las distancias de traslado dependen de los procedimientos que realizan los distintos tipos de vehículos GSE, los puestos o áreas de estacionamiento GSE (fijos o temporales), la disponibilidad de equipos para brindar servicio y la asignación de puestos de estacionamiento de aeronaves. Dichas distancias repercuten directamente en los niveles de contaminación.

## 6.5 Identificación de vehículos clave

Si bien el escenario ideal en términos de reducción de aporte contaminante sería reemplazar toda la flota por vehículos eléctricos, se presentan ciertas limitaciones.

La electrificación de los vehículos de apoyo en tierra está sujeta principalmente a la disponibilidad de equipos en el mercado. Para ello debe confeccionarse un inventario identificando los principales proveedores de eGSE e indicando las especificaciones técnicas de los mismos (potencia del motor eléctrico y capacidad de las baterías). Estos parámetros resultan útiles al momento de analizar la operatividad de los vehículos de asistencia en tierra eléctricos.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el capital inicial para el reemplazo completo de la flota de GSE es muy elevado, hay que hacer una selección de vehículos clave, identificando cuáles son los vehículos de asistencia en tierra que generan el mayor aporte contaminante.

## 6.6 Análisis operativo de los eGSE

En un inicio se planteó que los vehículos eléctricos de asistencia a las aeronaves presentaban ciertas desventajas en términos de tiempos de inactividad durante los períodos de carga. La falta de disponibilidad de un equipo cuando se lo requiere puede afectar drásticamente la operatividad de un aeropuerto. Por esta razón, este apartado está destinado a determinar los puntos de inflexión en cuanto a la operatividad de los eGSE.

### 6.6.1 Tiempo de descarga de las baterías

El consumo de los vehículos eléctricos depende de diversos factores, entre los cuales se pueden mencionar los rompimientos de inercia, las aceleraciones y desaceleraciones, las distancias recorridas, las pendientes del terreno, etc. Todos estos parámetros influyen directamente sobre la potencia, generando una dependencia de esta con el tiempo.

Si bien las especificaciones técnicas brindadas por los fabricantes indican la potencia máxima, los vehículos eléctricos no operan todo el tiempo a esta potencia. Si fuese este el caso, los tiempos de descarga serían muy bajos (alrededor de 1 hora) y los motores estarían muy exigidos. Por esta razón, a fin de determinar los tiempos de descarga con mayor exactitud, es necesaria la estimación de una potencia media.

### 6.6.1.1 Determinación de la potencia media

Para la determinación de la potencia media de los eGSE se lleva a cabo el mismo procedimiento que se describió para los vehículos a combustión interna (ver **6.2.1.1**). Una vez hallada la potencia media, se utiliza la siguiente expresión para determinar el tiempo de descarga de la batería:

$$t_{db_t} = \frac{CB_t}{P_{med_t}}$$

*Ecuación 18 - Tiempo de descarga de la batería*

Dónde,

$t_{db_t}$  [h]: Tiempo de descarga de la batería del equipo eGSE  $t$ .

$CB_t$  [kWh]: Capacidad de la batería del equipo eGSE  $t$ .

$P_{med_t}$  [kW]: Potencia media del equipo eGSE  $t$ .

Conociendo los tiempos de circulación, los tiempos operativos y los tiempos de descarga de los equipos GSE, se puede determinar la cantidad de operaciones a realizar antes de quedar inactivos.

### 6.6.2 Tiempo de carga de las baterías

El tiempo de carga de los equipos varía de acuerdo a la potencia de salida de las estaciones de carga. Sin embargo, la elección de las mismas está sujeta a la disponibilidad que haya en el mercado.

Hoy en día, el principal proveedor de cargadores rápidos para vehículos de apoyo en tierra eléctricos es PosiCharge. El mismo provee servicio a 15 de los aeropuertos más grandes del mundo, 11 aerolíneas de primera categoría y diversas bases de la fuerza aérea de EEUU.

PosiCharge cuenta con una gran variedad de estaciones de carga **[13]**, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- **SVS100**: Puerto único con una capacidad total de 10 kW.
- **DVS300/330/400**: Doble puerto con una capacidad total de 30, 33 y 40 kW.
- **MVS400**: 4 puertos con una capacidad total de 40 kW.
- **MVS800**: 16 puertos con una capacidad total de 80 kW.



Figura 28 - Estaciones de carga PosiCharge

La expresión que representa el tiempo de carga de las baterías es:

$$t_{cb_t} = \frac{CB_t}{P_{sc_m}}$$

Ecuación 19 - Tiempo de carga de la batería

Dónde,

$t_{cb_t}$  [h]: Tiempo de carga de la batería del equipo eGSE  $t$ .

$CB_t$  [kWh]: Capacidad de la batería del equipo eGSE  $t$ .

$P_{sc_m}$  [kW]: Potencia de salida del cargador  $m$ .

De acuerdo con la **Ecuación 19**, el tiempo de carga de los vehículos eléctricos disminuye a medida que aumenta la potencia de salida del cargador. Teniendo esto presente, la elección del cargador depende de las necesidades operativas y de la frecuencia de uso de los equipos.

A modo ilustrativo se muestran las estaciones de carga instaladas en el Aeropuerto Internacional de Oakland [14].



*Figura 29 - Estaciones de carga Aeropuerto Internacional de Oakland*

### 6.6.3 Influencia de los tiempos de carga y descarga en las operaciones

Los tiempos de carga y descarga de los eGSE impactan directamente en la operatividad aeroportuaria. El análisis de movimientos de las aeronaves durante la semana tipo y de los tiempos de inactividad de los equipos permite la detección de problemas a nivel operativo.

El caso ideal sería que los eGSE queden fuera de actividad por agotamiento de batería y logren cargarla completamente antes de que sean requeridos para realizar otra operación. Sin embargo, en el caso de que el vehículo no logre cargarse lo suficientemente rápido y sea requerido para operar, debe incrementarse la flota de vehículos eléctricos a fin de abastecer la demanda impuesta por las aeronaves. Esto depende del tráfico aéreo previsto en cada aeropuerto.

Para el análisis en cuestión se propone el armado de diagramas de Gantt, de forma tal que se puedan evidenciar los ciclos de carga y descarga de cada uno de los vehículos.

### 6.7 Estimación del consumo eléctrico de los eGSE

Tal como se mencionó al inicio del informe, uno de los principales beneficios que trae aparejado el uso de vehículos de apoyo en tierra eléctricos, es el ahorro de combustible. Con el objeto de poder expresar estas palabras en números, se procede a calcular el ahorro de combustible semanal.

En primera instancia es necesaria la estimación del consumo eléctrico promedio semanal. Para ello hay que hacer uso de la potencia media estimada con anterioridad y determinar el tiempo de funcionamiento semanal de todos los equipos eGSE. De esta forma, la expresión a utilizar es:

$$C_{E_{semanal_t}} = P_{med_t} \cdot t_{f_{semanal_t}}$$

*Ecuación 20 - Consumo eléctrico promedio semanal*

Dónde,

$C_{E_{semanal_t}}$  [**kWh**]: Consumo eléctrico semanal del equipo eGSE  $t$ .

$P_{med_t}$  [**kW**]: Potencia media del equipo eGSE  $t$ .

$t_{f_{semanal_t}}$  [**h**]: Tiempo de funcionamiento semanal del equipo eGSE  $t$ .

Por otra parte, para la determinación del ahorro de combustible [15] es menester estimar el consumo de combustible semanal de los equipos GSE. Esta es una de las formas de evidenciar las ventajas que poseen los vehículos eléctricos por sobre los vehículos a combustión interna.

El cálculo en cuestión se pone de manifiesto a partir de la siguiente ecuación:

$$Litros_{comb_t} = \frac{C_{comb} \cdot P_{med_t} \cdot t_{circ}}{1000 \cdot \rho_{diésel}} + 2 \cdot t_{serv}$$

*Ecuación 21 - Litros de combustible consumidos*

Dónde,

$Litros_{comb_t}$  [**litros**]: Litros de combustible consumidos del equipo GSE  $t$ .

$C_{comb}$  [ $\frac{g_{diésel}}{kW \cdot h}$ ]: Consumo de combustible por potencia.

$P_{med_t}$  [**kW**]: Potencia media en circulación del equipo GSE  $t$ .

$t_{circ}$  [**h**]: Tiempo de circulación del equipo GSE  $t$ .

$t_{serv}$  [**h**]: Tiempo de servicio del equipo GSE  $t$ .

$\rho$  [**kg/litros**]: Densidad del diésel.

La primera parte de la **Ecuación 21** hace referencia al consumo de combustible correspondiente a la circulación en plataforma, mientras que la segunda parte se corresponde con el consumo en servicio. Para esta última se consideró que los vehículos se encuentran en ralentí, consumiendo 2 litros/hora.

Finalmente, sabiendo el precio del combustible por litro y de la electricidad por kWh, se puede usar la siguiente expresión:

$$A_{c_{semanal}t} = C_{c_{semanal}t} \cdot p_C - C_{E_{semanal}t} \cdot p_E$$

*Ecuación 22 - Ahorro de combustible promedio semanal*

Dónde,

$A_{c_{semanal}}$  [US\$]: Ahorro de combustible semanal por equipo eGSE  $t$ .

$C_{c_{semanal}t}$  [l]: Consumo de combustible semanal del equipo GSE  $t$ .

$p_C$  [US\$]: Precio del combustible por litro.

$C_{E_{semanal}t}$  [kWh]: Consumo eléctrico semanal del equipo eGSE  $t$ .

$p_E$  [US\$]: Precio de la electricidad por kWh.

## 6.8 Determinación de los requerimientos de la infraestructura

Los cambios aparejados por los vehículos de asistencia en tierra eléctricos deben ser acompañados por un proceso de adaptación de la infraestructura. De otra forma, los eGSE no dispondrían de las condiciones necesarias para poder operar.

En primera instancia debe verificarse que la base de carga propuesta con anterioridad cuenta con el espacio necesario como para albergar a todos los vehículos calculados en 6.6.3. En el caso de que la respuesta sea negativa, deberá proponerse una nueva base de carga y realizar los cálculos nuevamente.

Ya habiendo definido la potencia óptima de carga para cada vehículo, se debe determinar la cantidad de estaciones de carga necesarias, así como también, la potencia total a instalar en el predio. De esta manera se puede establecer si la potencia disponible en el emplazamiento aeroportuario puede cumplir con la demanda energética impuesta por los vehículos de apoyo eléctricos.

## 6.9 Análisis potencial de fuentes de energía alternativa

La tendencia de los aeropuertos en términos de sostenibilidad ha ido cambiando paulatinamente. Hoy en día, los emplazamientos aeroportuarios buscan hacer un uso responsable de los recursos en pos de reducir los niveles de contaminación.

Si bien la electrificación de los GSE resulta en una disminución en los niveles de contaminación, no se puede pretender que la energía eléctrica que abastezca a los mismos provenga de una central a combustible fósil. La generación de energía eléctrica por medio de plantas industriales es uno de los factores que contribuye de forma global al aporte contaminante. Frente a esta problemática es que surge la aparición de campos de energía alternativa.

En el caso de que la potencia disponible en el aeropuerto no pueda cumplir con la demanda energética prevista, deberá llevarse a cabo un análisis potencial sobre el posible uso de fuentes de energía renovable en el predio.



La fuente de energía renovable óptima depende de la ubicación y de las condiciones del entorno en las que se encuentre emplazado el aeropuerto. Se hará uso de aerogeneradores si la influencia de los vientos es el factor preponderante, de paneles solares si predomina la radiación solar, y así sucesivamente. Por esta razón, el análisis de viabilidad depende de cada aeródromo.

## 7 Caso de aplicación: Aeropuerto Internacional Ezeiza (SAEZ)

El emplazamiento aeroportuario adoptado como referencia es el Aeropuerto Internacional Ezeiza (SAEZ). El predio en cuestión se encuentra ubicado 35 km al sudoeste de la ciudad de Buenos Aires. Se presenta en la siguiente figura la localización del mismo respecto de los partidos que se encuentran en su entorno inmediato.

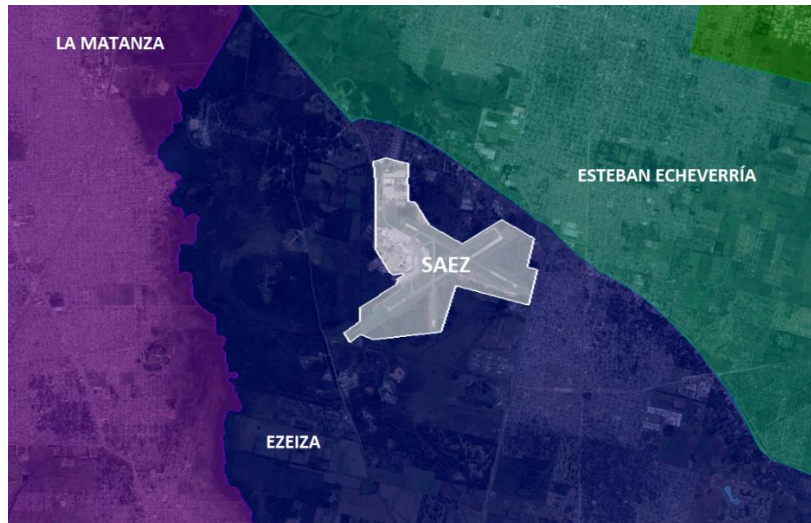


Figura 30 - Ubicación del Aeropuerto Internacional Ezeiza (SAEZ)

Las coordenadas de referencia son 344920S y 0583209W, su altitud de 20.5 metros y su temperatura es de 22.4° [16].

Se trata del segundo aeródromo con mayor cantidad de operaciones del país, luego de Aeroparque.

CARACTERÍSTICAS	AEROPUERTO INTERNACIONAL EZEIZA
Clave de referencia	4F
Operaciones anuales	84.450
Movimiento de pasajeros anuales	11.364.937

Tabla 5 - Características generales del Aeropuerto Internacional Ezeiza (Datos actualizados al 2019)

De los 11.364.937 pasajeros anuales, el 55,7% representa los pasajeros nacionales, mientras que el 44,3% restante representa los pasajeros internacionales.

### 7.1 Hipótesis

El análisis se enmarca en el servicio de transporte aéreo comercial (regular y no regular), para operaciones internacionales, de cabotaje o regionales. Se analizan únicamente aquellos movimientos correspondientes a los sectores I y II de la plataforma comercial de pasajeros.

Se adoptan todos los vuelos como origen-destino, dado que los datos proveídos por el explotador aeroportuario no indican el tipo de servicio de las aeronaves.

Se excluyen del estudio a unidades de acondicionamiento de aire, unidades de arranque neumático, unidades de potencia en tierra, tractores de carga, elevadores de carga, vehículos de limpieza, vehículos de pasajeros con movilidad reducida y vehículos anticongelantes. Las razones se exponen a continuación:

- Las unidades de acondicionamiento de aire y de arranque neumático no son contempladas ya que son utilizadas con baja o nula frecuencia en vuelos comerciales.
- Las unidades de potencia en tierra se excluyen ya que no son autopropulsadas. El hecho de depender de un tractor eléctrico para su movilidad dificulta en gran medida el análisis.
- Los tractores y elevadores de carga no son considerados ya que son empleados mayoritariamente en plataformas de carga.
- Los vehículos de limpieza no son contemplados dado que muchas veces los operarios se acercan por sus propios medios a los puestos.
- Los vehículos de pasajeros con movilidad reducida son excluidos ya que suelen utilizarse en vuelos específicos bajo previa solicitud de los pasajeros.
- Las temperaturas anuales expuestas en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza hacen que se pueda prescindir de vehículos anticongelantes.

Se adopta que los vehículos de servicio de catering se encuentran estacionados en las plantas de catering de LSG SkyChefs y Gate Gourmet (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.); los vehículos de abastecimiento de agua potable y limpieza de aguas residuales se posicionan en la planta de tratamientos de agua de Aysa (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.); y los camiones de abastecimiento de combustible se localizan en las cercanías de las instalaciones de la planta de combustible (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Se considera que cada aeronave dispone de 1 camión de catering, 1 vehículo de aguas residuales, 1 vehículo de abastecimiento de agua potable, 1 tractor de equipaje, 1 cinta transportadora, 2 buses, 2 escaleras, 1 remolcador y 1 camión cisterna de combustible.

## **7.2 Caracterización del aeropuerto de referencia**

Como primera medida se caracteriza el aeropuerto de referencia. Dicha caracterización implica la identificación y descripción de los principales elementos que integran la parte aeronáutica. El estudio de pistas (en blanco), calles de rodaje (en azul) y plataformas (en rojo, naranja y verde agua) resulta sustancial para comprender en detalle las operaciones que se llevan a cabo en un aeropuerto. A continuación, se muestra el esquema correspondiente:



Figura 31 - Esquema parte aeronáutica del Aeropuerto Internacional Ezeiza

La identificación de los elementos antes mencionados se llevó a cabo por medio del Google Earth.

### 7.2.1 Pistas

El aeropuerto dispone de dos pistas con dos cabeceras operativas cada una (11-29 y 17-35) cuyas características se muestran en la siguiente tabla:

RWY	Orientación	Dimensiones	Resistencia	SWY	CWY	Franjas
11	109°	3300x60	Rígido : 82 R-B-W-T Flexible : 92 F-C-W-T	-	200x150	3420x300
29	289°	3300x60	Rígido : 82 R-B-W-T Flexible : 92 F-C-W-T	-	-	3420x300
17	171°	3105x45	Rígido : 70 R-B-W-T Flexible : 74 F-B-W-T	-	-	3225x300
35	351°	3105x45	Rígido : 70 R-B-W-T Flexible : 74 F-B-W-T	-	300x150	3225x300

**Observación:** THR 35 desplazado 300 metros permanentemente por obstáculos

Tabla 6 - Características físicas de las pistas (Fuente: AIP Ezeiza)

En base a las especificaciones mostradas previamente, se detallan las distancias declaradas:



RWY	TORA [m]	TODA [m]	ASDA [m]	LDA [m]
<b>11</b>	3.300	3.500	3.300	3.300
<b>29</b>	3.300	3.300	3.300	3.300
<b>17</b>	3.105	3.105	3.105	3.105
<b>35</b>	3.105	3.405	3.105	2.805

*Tabla 7 - Distancias Declaradas (Fuente: AIP Ezeiza)*

Cabe destacar que las pistas 11 y 35 cuentan con un sistema de aproximación de precisión categoría III y II respectivamente.



*Figura 32 - Configuración de pistas*

## 7.2.2 Calles de rodaje

El sistema de calles de rodaje del Aeropuerto Internacional Ezeiza está conformado por 11 calles que permiten la conexión de los diversos elementos del aeródromo.

Las aeronaves que están partiendo desde sus puestos de estacionamiento, salvo otra autorización dada por la Torre de Control, deberán rodar autopropulsadas por el eje de plataforma hasta la calle de rodaje “Foxtrot” (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) y por ésta, hasta la barra de parada anterior de ingreso a la pista 11.



Figura 33 - Configuración de calles de rodaje

### 7.2.3 Plataformas

Los emplazamientos aeroportuarios son capaces de brindar servicio a un cierto número de aeronaves. Dicha capacidad se ve reflejada a partir de la caracterización de la rampa aeroportuaria. Esta última implica:

- Cantidad, tipo y descripción geométrica de las plataformas.
- Cantidad de puestos de estacionamiento y restricciones de uso según tipo de aeronave.

El análisis en cuestión es de gran importancia ya que los recorridos de circulación de los vehículos de asistencia en tierra (GSE) serán mayores o menores dependiendo de la localización de los puestos de estacionamiento para aeronaves y los puestos base de cada uno de los vehículos identificados.

El predio dispone de 3 plataformas operativas: una plataforma de pasajeros, una plataforma de carga y una plataforma industrial.

La plataforma comercial de pasajeros se encuentra dividida en 4 sectores cuyas localizaciones se muestran en la siguiente imagen:





*Figura 34 - Plataforma comercial de pasajeros*

La cantidad de puestos de estacionamiento asociada a cada uno de los sectores es la siguiente:

- **Sector I:** 17 puestos de estacionamiento (del 2 al 18), de los cuales 15 cuentan con pasarela.
- **Sector II:** 8 puestos de estacionamiento remoto (del 70 al 73 y del 22 al 25).
- **Sector III:** 4 puestos de estacionamiento remoto (del 57 al 60).
- **Sector IV:** 7 puestos de estacionamiento remoto (del 61 al 67).

La plataforma comercial de carga se encuentra ubicada a continuación de la plataforma de pasajeros. La misma cuenta con 7 puestos de estacionamiento (del 50 al 56).



*Figura 35 - Plataforma comercial de carga*

La plataforma industrial (Chivatos – FBO) presenta 15 puestos de estacionamiento (del 33 al 47). Cuenta con capacidad para el estacionamiento mixto de aeronaves, compuesta por posiciones para aeronaves Clave “E” y “D” en estacionamiento remoto, posiciones alternativas para aeronaves Clave “C”, y posiciones de estacionamiento para aeronaves de aviación general Clave “A”, “B” y “C” que operan en la Terminal de pasajeros denominada FBO emplazada en el sector Sureste de la misma.





Figura 36 - Plataforma industrial

### 7.3 Análisis de la flota operativa

El explotador aeroportuario ha provisto los movimientos correspondientes al mes de enero de 2020 (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Se detalla a continuación la distribución diaria de operaciones:

<b>MOVIMIENTOS – ENERO 2020</b>				
<b>DÍA</b>		<b>ARRIBOS</b>	<b>PARTIDAS</b>	<b>MOVIMIENTOS</b>
Miércoles	1	114	116	230
Jueves	2	126	128	254
Viernes	3	133	125	258
Sábado	4	134	141	275
Domingo	5	128	131	259
Lunes	6	138	136	274
Martes	7	127	124	251
Miércoles	8	128	130	258
Jueves	9	123	127	250
Viernes	10	124	126	250
Sábado	11	123	122	245
Domingo	12	131	134	265
Lunes	13	134	128	262
Martes	14	124	122	246
Miércoles	15	123	127	250
Jueves	16	136	129	265
Viernes	17	127	129	256

<b>MOVIMIENTOS – ENERO 2020</b>				
<b>DÍA</b>		<b>ARRIBOS</b>	<b>PARTIDAS</b>	<b>MOVIMIENTOS</b>
Sábado	18	127	127	254
Domingo	19	130	133	263
Lunes	20	136	130	266
Martes	21	122	126	248
Miércoles	22	126	125	251
Jueves	23	129	130	259
Viernes	24	128	128	256
Sábado	25	131	131	262
Domingo	26	128	129	257
Lunes	27	132	134	266
Martes	28	119	118	237
Miércoles	29	132	128	260
Jueves	30	131	133	264
Viernes	31	130	131	261
<b>Total</b>		<b>3.974</b>	<b>3.978</b>	<b>7.946</b>

Tabla 8 - Movimiento de aeronaves enero de 2020 (Ezeiza)

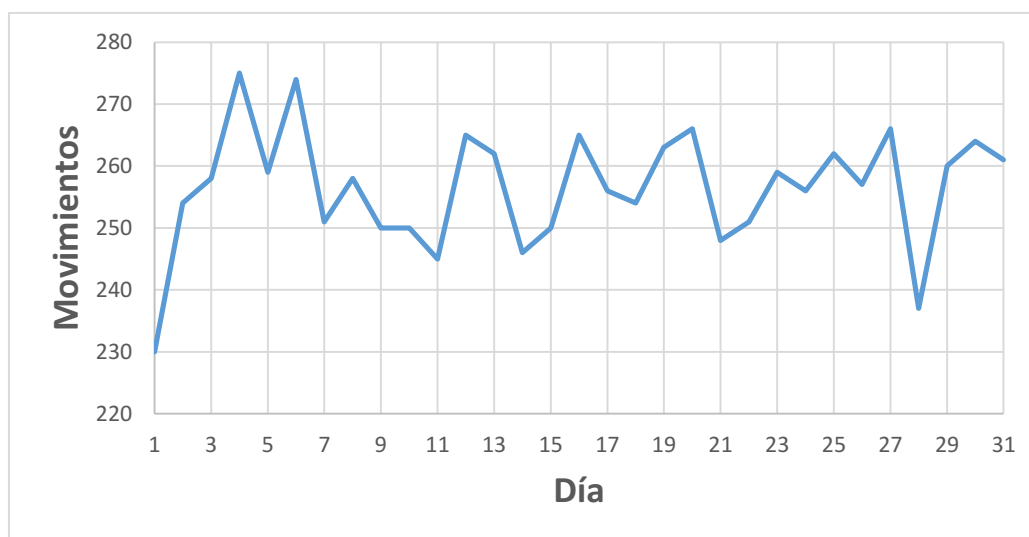


Figura 37 - Movimiento total de aeronaves enero de 2020 (Ezeiza)

De acuerdo al análisis planteado se observa que el Aeropuerto Internacional Ezeiza cuenta con un promedio de 256 operaciones diarias.

De las 7.952 operaciones aéreas, el 82,7% representa las operaciones internacionales, mientras que el 17,3% restante representa las operaciones de cabotaje.

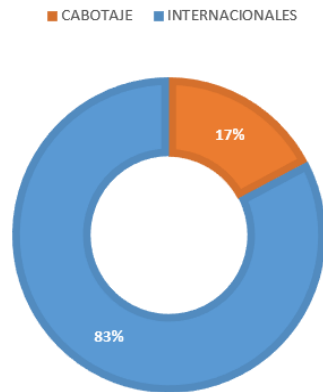


Figura 38 - Mezcla de tráfico según vuelo registrado enero de 2020 (Ezeiza)

Si ahora se analiza la ocupación porcentual de puestos de estacionamiento según tipo de vuelo (doméstico o internacional), se puede observar que la mayor incidencia de vuelos de cabotaje se da en el sector II de la plataforma comercial de pasajeros. A modo de recordatorio, el sector II hace referencia a los siguientes puestos: del 22 al 25 y del 70 al 73.

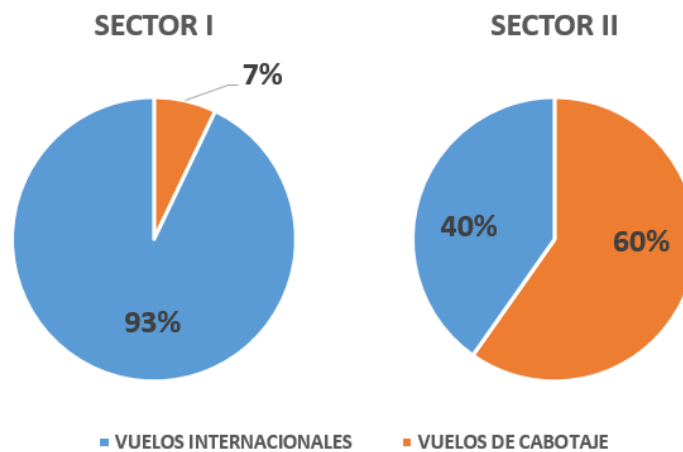


Figura 39 - Ocupación porcentual de los sectores I y II de la plataforma comercial de pasajeros enero de 2020 (Ezeiza)

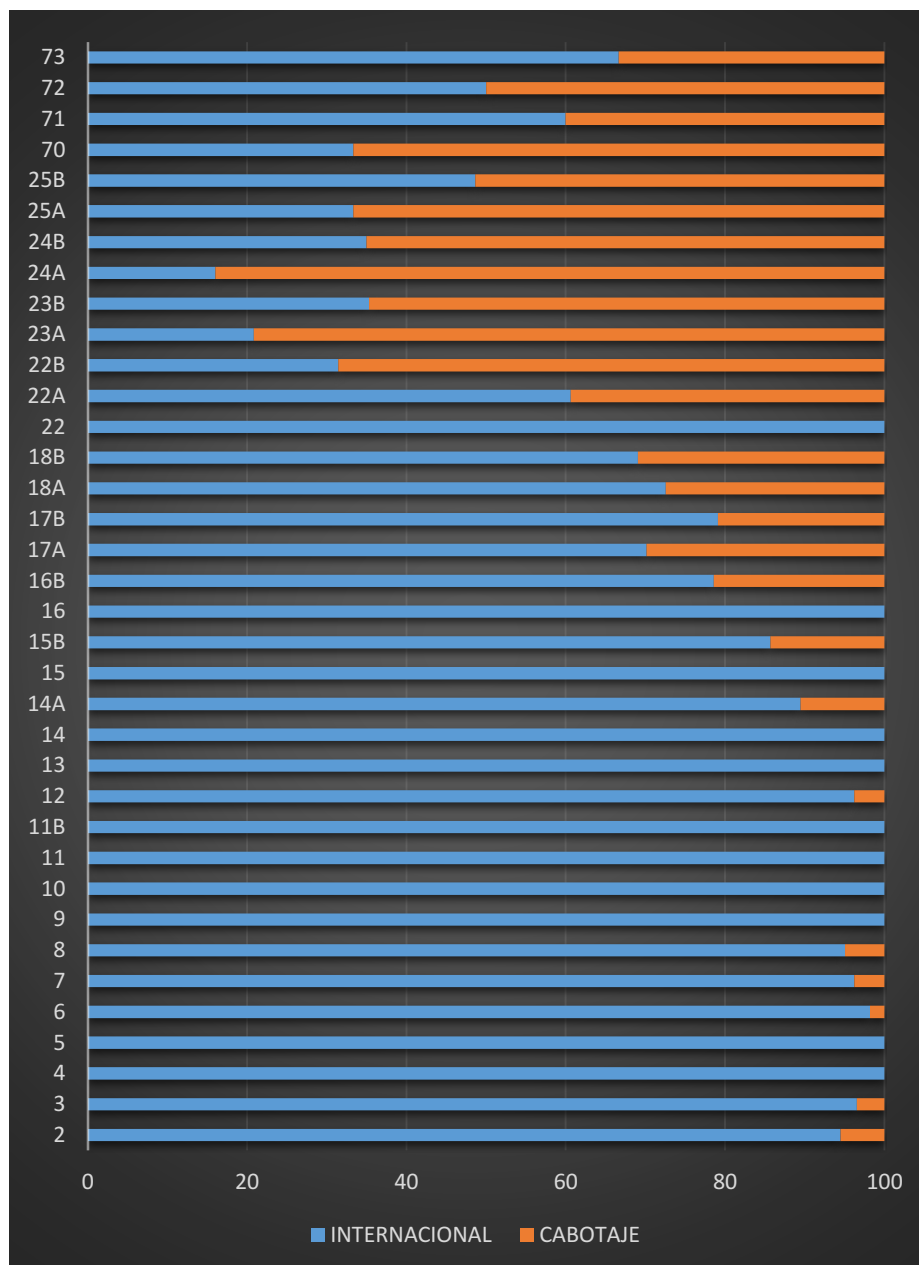


Figura 40 - Ocupación porcentual de puestos según vuelo internacional o doméstico enero de 2020 (Ezeiza)

### 7.3.1 Obtención de la semana de diseño

A partir del análisis de movimientos del mes de enero se determina la cantidad de operaciones semanales.

FECHA	CANTIDAD DE MOVIMIENTOS
SEMANA DEL 6 AL 12	1.793
SEMANA DEL 13 AL 19	1.796
SEMANA DEL 20 AL 26	1.799

Tabla 9 - Cantidad de movimientos semanales enero de 2020 (Ezeiza)



Teniendo en cuenta los datos expresados en la tabla previa se obtiene la semana pico del 20 al 26, entendiéndose como la semana con mayor cantidad de operaciones del mes.

<b>DATOS OBTENIDOS</b>	<b>CANTIDAD DE MOVIMIENTOS</b>
ENERO 2020	7.952
SEMANA PICO	1.799

Tabla 10 - Cantidad de movimientos mes de enero de 2020 y semana pico (Ezeiza)

A su vez, se ha realizado el análisis que indica la mezcla de tráfico correspondiente a la semana pico:

<b>AERONAVE</b>	<b>CANTIDAD DE ARRIBOS</b>
Boeing 738W	345
Boeing 737	215
Airbus A320	209
Embraer 190	180
Airbus A330	132
Boeing 777-200LR	120
Boeing 787-900	83
Airbus 320neo	43
Boeing 777-300ER	42
Boeing 767 300 Winglets	39
Boeing 787-800	26
Airbus A340	24
Airbus 319	22
Boeing 747	14
Airbus A320 Sharklets	14
Airbus A321 Sharklets	12
Airbus A321	8
Airbus 350-900 XWB	8
Boeing 767	6
Embraer 195	4
Ilyushin 96	2
<b>TOTAL</b>	<b>1.548</b>

Tabla 11 - Mezcla de tráfico semana pico del mes de enero de 2020 (Ezeiza)

En el siguiente gráfico se puede apreciar el tipo de fuselaje de la mezcla de tráfico en la semana analizada:

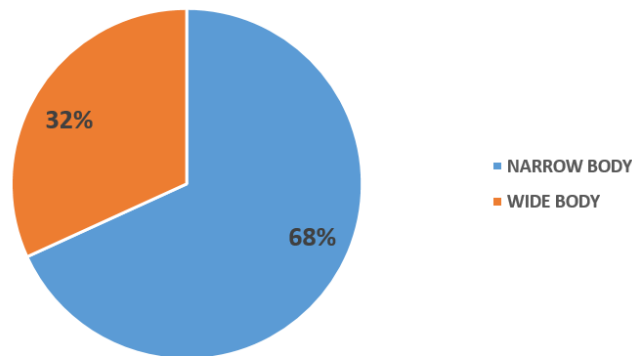


Figura 41 - Tipo de fuselaje de la mezcla de tráfico en la semana analizada

## 7.4 Caracterización de los vehículos de asistencia en tierra

Hoy en día las compañías encargadas del servicio en rampa en el Aeropuerto Internacional Ezeiza son Aerohandling e Intercargo.

Aerohandling S.A. presta servicio a aeronaves de Aerolíneas Argentinas - Austral. Actualmente ambas aerolíneas se encuentran fusionadas en una sola compañía. Dicha unión se consolidó con el objeto de aportar eficiencia en sus distintas áreas, lograr un posicionamiento que permita afrontar las exigencias del mercado, conformar una estructura más dinámica y unificar e integrar los procesos para hacerlos más ágiles.

Por su parte, la empresa responsable del servicio de las aerolíneas operativas restantes es Intercargo. Su administración está a cargo del Estado.

Ambas empresas proveen servicios aeroportuarios en tierra de forma integral. Las prestaciones brindadas a las compañías aéreas en términos de servicio en rampa son las siguientes:

- Remolque de la aeronave.
- Señalero, calzas y conos de seguridad.
- Embarque y desembarque de pasajeros.
- Conexión de la aeronave con escaleras motorizadas o de remolque.
- Carga y descarga de equipaje, correo y carga.
- Clasificación y carga de equipaje en contenedores.
- Suministro de energía eléctrica a la aeronave en tierra.
- Aire acondicionado para la aeronave en tierra.
- Arranque neumático de aeronave en tierra.
- Carga de agua potable a las aeronaves.
- Desagote de baños.
- Limpieza de aeronave (de cabina, tránsito, terminal, limpieza intensiva, de boxes, etc).
- Retiro y tratamiento de residuos orgánicos provenientes del exterior.

Por su parte, las prestaciones en términos de servicio a los pasajeros son:

- Transporte de pasajeros y tripulaciones en plataforma operativa.
- Vehículo para embarque/desembarque de personas con necesidades especiales.
- Embalaje de equipaje de pasajeros.



Figura 42 - Base de operaciones Aerohandling e Intercargo

Ante la imposibilidad de realizar un relevamiento en el predio, los modelos GSE tomados como referencia para el cálculo fueron extraídos de la base de datos del software EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System). Los mismos presentan las siguientes características:

TIPO DE GSE	GSE	POTENCIA MÁXIMA [kW]
CATERING TRUCK	Hi-way F650	157
LAVATORY VEHICLE	Wollard TLS-770A	175
POTABLE WATER VEHICLE	Wollard TWS-402	175
BULK TRAIN	Tug MA 50	64
CONVEYOR BELT	Tug 660	64
APRON BUS	Volvo Neobus B7R	216
PASSENGER STAIRS	Wollard CMPS-228	48
TOW TRACTOR	Tug GT-35	55
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	Titan Aviation	268

Tabla 12 - Modelos de referencia para el cálculo

### 7.4.1 Tiempos de carga y de agotamiento de combustible

Con el objeto de trabajar con datos lo más cercanos posible a la realidad, el modelo desarrollado contempla los tiempos de carga y de agotamiento del combustible.

Las capacidades de almacenamiento de combustible para los diferentes vehículos se encuentran definidas en la siguiente tabla:

TIPO DE GSE	GSE	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE [Litros]
CATERING TRUCK	Hi-way F650	250
LAVATORY VEHICLE	Wollard TLS-770A	152
POTABLE WATER VEHICLE	Wollard TWS-402	152
BULK TRAIN	Tug MA 50	60
CONVEYOR BELT	Tug 660	60
APRON BUS	Volvo Neobus B7R	300
PASSENGER STAIRS	Wollard CMPS-228	83
TOW TRACTOR	Tug GT-35	68
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	Titan Aviation	300

*Tabla 13 - Capacidad de almacenamiento de combustible*

Dado que no se dispone de la velocidad de salida del flujo de combustible, se adoptó como referencia que un vehículo convencional (capacidad: 60 litros) tarda aproximadamente 3 minutos en cargar. Extrapolando estos resultados se obtuvieron los tiempos de carga de todos los vehículos:

TIPO DE GSE	TIEMPOS DE CARGA DE COMBUSTIBLE [h]
CATERING TRUCK	0,21
LAVATORY VEHICLE	0,13
POTABLE WATER VEHICLE	0,13
BULK TRAIN	0,05
CONVEYOR BELT	0,05
APRON BUS	0,25
PASSENGER STAIRS	0,07
TOW TRACTOR	0,06
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,25

*Tabla 14 - Tiempos de carga de combustible*

Una vez obtenidos los tiempos de carga, se procede a obtener los tiempos de descarga. Para ello debe realizarse una estimación de la potencia media.

#### 7.4.1.1 Determinación de la potencia media

En primera instancia se determinan los factores de carga correspondientes al modo manejo. Para ello es necesaria la especificación de la masa y el área frontal de los vehículos tomados en consideración:

TIPO DE GSE	GSE	MASA [kg]	ÁREA FRONTAL [m <sup>2</sup> ]
CATERING TRUCK	Hi-way F650	19.500	6,37
LAVATORY VEHICLE	Wollard TLS-770A	4.990	4,46
POTABLE WATER VEHICLE	Wollard TWS-402	5.416	4,32
BULK TRAIN	Tug MA 50	2.835	2,16
CONVEYOR BELT	Tug 660	3.030	2,99
APRON BUS	Volvo Neobus B7R	18.000	8,84

TIPO DE GSE	GSE	MASA [kg]	ÁREA FRONTAL [m <sup>2</sup> ]
PASSENGER STAIRS	Wollard CMPS-228	4.700	7,69
TOW TRACTOR	Tug GT-35	15.910	4,59
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	Titan Aviation	68.250	7,54

Tabla 15 - Masa y área frontal de los GSE

Los parámetros restantes fueron adoptados en base a valores sugeridos en la bibliografía de referencia [9]:

PARÁMETROS	VALORES
COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA	0,006
COEFICIENTE DE RESISTENCIA	0,800
DENSIDAD [kg/m <sup>3</sup> ]	1,225
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD [m/s <sup>2</sup> ]	9,810

Tabla 16 - Parámetros de referencia

Una vez establecidos todos los factores intervinientes, se obtuvo la potencia instantánea para cada tiempo discretizado. Se muestra en el Anexo A, el cómputo correspondiente a la cinta transportadora. El cálculo para el resto de los vehículos de asistencia a las aeronaves es similar al mostrado.

De esta forma, los factores de carga asociados a la circulación de los vehículos son los siguientes:

TIPO DE GSE	FACTORES DE CARGA MODO MANEJO
CATERING TRUCK	0,10
LAVATORY VEHICLE	0,02
POTABLE WATER VEHICLE	0,03
BULK TRAIN	0,04
CONVEYOR BELT	0,04
APRON BUS	0,07
PASSENGER STAIRS	0,09
TOW TRACTOR	0,22
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,19

Tabla 17 - Factores de carga modo manejo

En segunda instancia se muestran los factores de carga correspondientes al modo operación:

FACTORES DE CARGA MODO OPERACIÓN – DESCARGA				
GSE	ESPERA	CONEXIÓN	SERVICIO	DESCONEXIÓN
CATERING TRUCK	0,53	0,53	0,00	0,53
LAVATORY VEHICLE	0,25	0,25	0,00	0,25
POTABLE WATER VEHICLE	0,20	0,20	0,00	0,20
BULK TRAIN	0,36	0,36	0,55	0,36
CONVEYOR BELT	0,36	0,36	0,00	0,36
APRON BUS	0,20	0,00	0,20	0,00

<b>FACTORES DE CARGA MODO OPERACIÓN – DESCARGA</b>				
<b>GSE</b>	<b>ESPERA</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DESCONEXIÓN</b>
PASSENGER STAIRS	0,57	0,00	0,00	0,00
TOW TRACTOR	0,00	0,00	0,00	0,00
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,00	0,25	1,00	0,25

Tabla 18 - Factores de carga modo operación – Descarga (Fuente: [10])

<b>FACTORES DE CARGA MODO OPERACIÓN – CARGA</b>				
<b>GSE</b>	<b>ESPERA</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DESCONEXIÓN</b>
CATERING TRUCK	0,53	0,53	0,00	0,53
LAVATORY VEHICLE	0,25	0,25	0,25	0,25
POTABLE WATER VEHICLE	0,20	0,20	0,20	0,20
BULK TRAIN	0,36	0,36	0,55	0,36
CONVEYOR BELT	0,36	0,36	0,00	0,36
APRON BUS	0,20	0,00	0,20	0,00
PASSENGER STAIRS	0,57	0,00	0,00	0,00
TOW TRACTOR	0,40	0,40	0,80	0,40
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 19 - Factores de carga modo operación – Carga (Fuente: [10])

Promediando los factores de carga presentados previamente se obtuvieron las potencias medias asociadas:

<b>TIPO DE GSE</b>	<b>POTENCIA PROMEDIO [kW]</b>
CATERING TRUCK	44,1
LAVATORY VEHICLE	29,9
POTABLE WATER VEHICLE	24,1
BULK TRAIN	21,4
CONVEYOR BELT	14,4
APRON BUS	20,2
PASSENGER STAIRS	6,4
TOW TRACTOR	24,4
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	90,8

Tabla 20 - Potencia media de los GSE

Los demás parámetros requeridos para el cálculo del tiempo de agotamiento de combustible fueron adoptados en base a valores sugeridos en la bibliografía de referencia [11] [17]:

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALORES</b>
CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR POTENCIA [gdiesel/kW.h]	240
DENSIDAD DEL DIESEL [kg/litros]	0,832

Tabla 21 - Parámetros de referencia

Finalmente, los resultados obtenidos fueron los siguientes:



TIPO DE GSE	TIEMPOS DE AGOTAMIENTO DE COMBUSTIBLE [h]
CATERING TRUCK	19,6
LAVATORY VEHICLE	17,6
POTABLE WATER VEHICLE	21,8
BULK TRAIN	9,7
CONVEYOR BELT	14,5
APRON BUS	51,5
PASSENGER STAIRS	45,1
TOW TRACTOR	9,7
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	11,5

Tabla 22 - Tiempos de agotamiento de combustible

## 7.5 Determinación de recorridos y tiempos de circulación/operativos de los GSE

### 7.5.1 Emplazamiento de las estaciones de carga de combustible

Las estaciones de carga de combustible correspondientes a cintas transportadoras, tractores de equipaje, buses de pasajeros, escaleras de pasajeros y remolcadores de aeronaves, fueron emplazadas en la siguiente ubicación:



Figura 43 - Ubicación de las estaciones de carga

La elección de la misma no fue arbitraria sino que tuvo en cuenta diferentes factores:

- Dado que las operaciones bajo consideración se encuentran en los sectores I y II de la plataforma comercial de pasajeros (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), se buscó un sector intermedio que sirva de tránsito. De esta forma los vehículos no tendrán que recorrer grandes distancias al momento de salir o regresar a la base.

- Cuenta el espacio suficiente como para albergar a una gran cantidad de vehículos.

Por su parte, las estaciones de carga correspondientes a camiones de catering, vehículos de abastecimiento de agua potable y vehículos de limpieza de aguas residuales se encuentran emplazadas en las plantas de catering y de tratamiento de agua correspondientes.

## 7.5.2 Caminos de circulación

A partir de la visualización satelital del Aeropuerto en cuestión se reconocieron diversas zonas que hacen a la operatividad de los GSE.



Figura 44 - Zonas operativas de los vehículos de asistencia en tierra

En primera instancia se identificaron los puestos de estacionamiento GSE que se corresponden con el procedimiento del tipo A (ver **Tabla 4** en **6.3**). Los mismos hacen referencia a las áreas de espera (ESA) que se encuentran ubicadas en el entorno del puesto de estacionamiento para aeronaves. A continuación se presenta una imagen de la plataforma comercial de pasajeros, en donde se puede apreciar la línea roja que delimita la zona de restricción de equipos (ERA) con el área de espera de equipos.



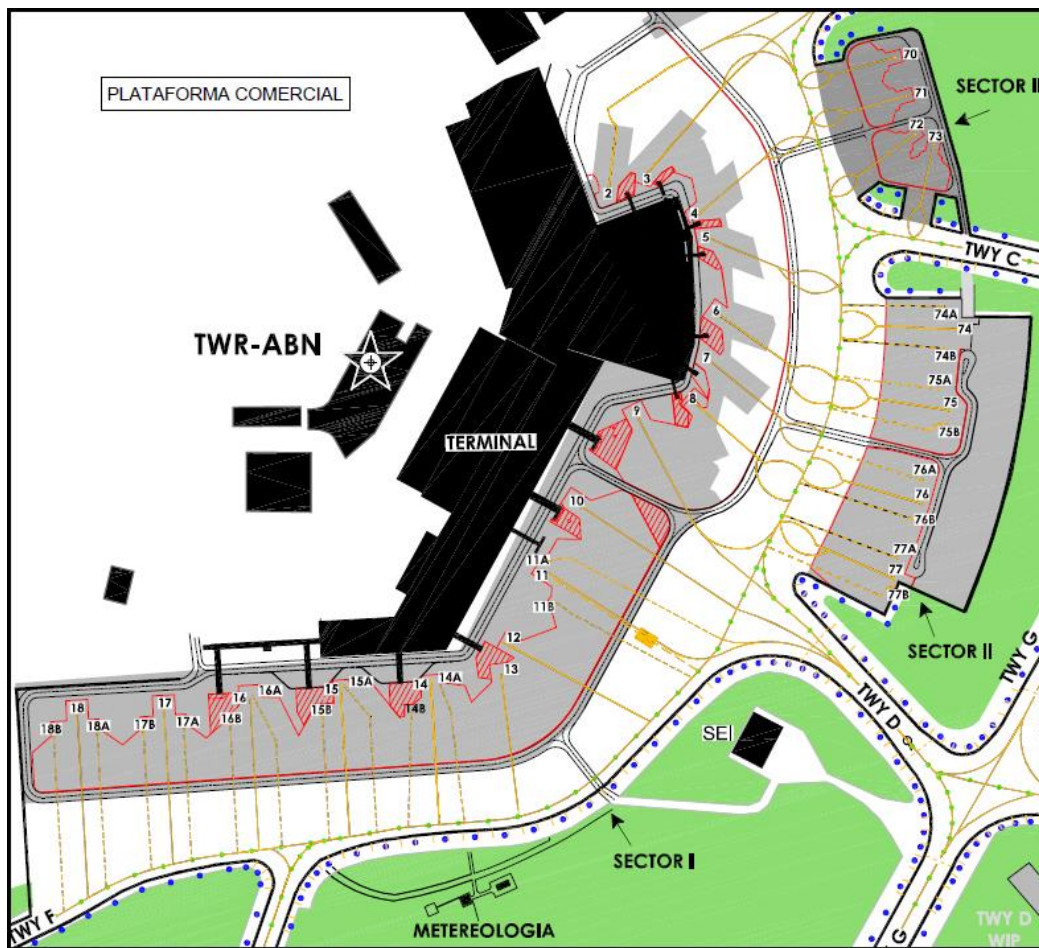


Figura 45 - Puestos de estacionamiento procedimiento A

En segunda instancia se identificaron los puestos de estacionamiento GSE correspondientes a procedimientos del tipo B. En la siguiente imagen se muestra el sector a donde son trasladados los pasajeros provenientes de vuelos internacionales y de cabotaje cuando la aeronave se encuentra en un puesto de estacionamiento remoto. Por otra parte se localizan los hipódromos de equipaje, sector en el cual se produce la carga y descarga de valijas por medio de tractores.

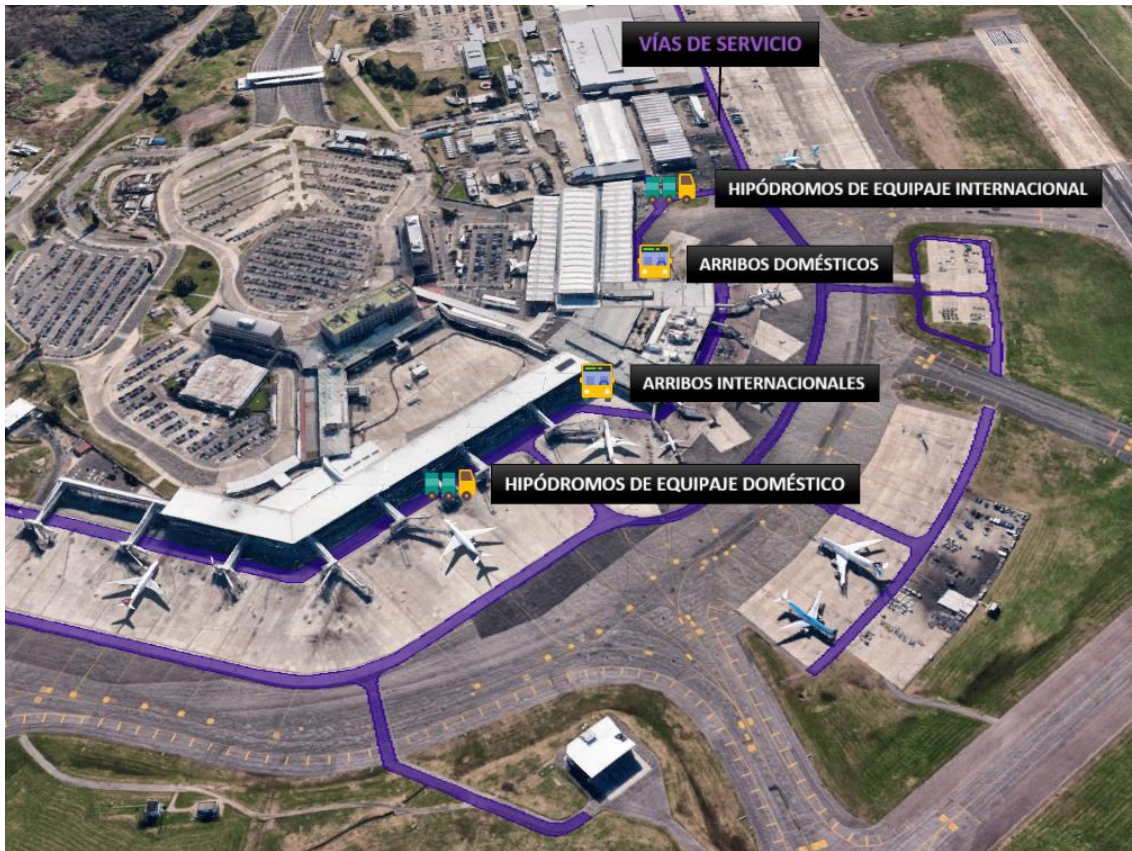


Figura 46 - Puestos de estacionamiento procedimiento B

Por último, se identificaron los puestos de estacionamiento correspondientes a procedimientos del tipo C.

La planta de combustible del Aeropuerto Internacional Ezeiza se encuentra ubicada en el kilómetro 28,5 de la autopista Ricchieri. Su localización fuera de plataforma no es azarosa sino que tiene por objeto brindar ciertos beneficios en términos de seguridad operacional. Dicha planta se encarga de aprovisionar a la planta de combustible interna, lugar en donde se encuentran emplazados los camiones cisterna que abastecen a las aeronaves.

Si bien algunos puestos de estacionamiento cuentan con tomas de combustible subterráneas, actualmente se encuentran inhabilitadas producto de fugas. Esto quiere decir que todas las aeronaves cuentan con el servicio de camiones cisterna.

El circuito que realizan los camiones de combustible consta de un primer tramo desde la planta de combustible interna hasta la entrada de la plataforma de pasajeros (en azul); de un segundo tramo desde la entrada en plataforma hasta el sector en donde se encuentre estacionada la primera aeronave que requiera abastecimiento de combustible; y de un tramo final en el cual los camiones cisterna se trasladan de un área de espera en otra a través de las vías de servicio (en violeta) hasta agotar toda su capacidad.





Figura 47 - Circuito de los camiones cisterna

El servicio de catering de las aeronaves es brindado por Gate Gourmet y LSG Sky Chefs. Los puestos de estacionamiento de los vehículos GSE asociados se encuentran ubicados fuera de plataforma, en las cercanías de la plataforma industrial.

El circuito que realizan los camiones de catering consta de un primer tramo desde las plantas de catering hasta la entrada de la plataforma de carga (en naranja); de un segundo tramo desde la entrada en plataforma hasta el sector en donde se encuentre estacionada la primera aeronave que requiera servicio; y de un tramo final en el cual los camiones se trasladan de un área de espera en otra a través de las vías de servicio (en violeta) hasta agotar todos los insumos.





Figura 48 - Circuito de los camiones de catering

La planta de tratamiento de aguas residuales y de abastecimiento de agua potable se encuentra en las cercanías del Aeropuerto. El circuito que realizan los vehículos en cuestión (vehículo de limpieza de aguas residuales y de abastecimiento de agua potable) consta de un primer tramo desde la planta de agua de Aysa hasta la entrada de la plataforma de carga; de un segundo tramo desde la entrada en plataforma hasta el sector en donde se encuentre estacionada la primera aeronave que requiera servicio; y de un tramo final en el cual los camiones se trasladan de un área de espera en otra a través de las vías de servicio (en violeta) hasta agotar todos los insumos.



Figura 49 - Circuito de los vehículos de abastecimiento de agua potable y de aguas residuales

Las trayectorias recorridas por los vehículos de asistencia en tierra durante la semana tipo fueron calculadas por medio del modelo optimizado que se mencionó con anterioridad.

### 7.5.3 Tiempos de circulación

Tal como se menciona previamente, de acuerdo con el manual de operaciones en rampa [18], la velocidad máxima de circulación en calles de rodaje de servicio es de 20 km/h.

Teniendo en cuenta los caminos de circulación de los equipos GSE y la velocidad a la que circulan, se estimó el tiempo de conducción en plataforma de los mismos.

GSE	TIEMPOS DE CIRCULACIÓN SEMANAL [h]
CATERING TRUCK	23,0
LAVATORY VEHICLE	28,8
POTABLE WATER VEHICLE	20,9
BULK TRAIN	82,7
CONVEYOR BELT	42,1
APRON BUS	71,2
PASSENGER STAIRS	31,9
TOW TRACTOR	23,8
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	25,0

Tabla 23 - Tiempos totales de circulación en plataforma en la semana analizada

## 7.5.4 Tiempos operativos

Los tiempos de operación de los vehículos de asistencia en tierra tomados en consideración son los expuestos en [19]. En dicho informe se estiman los tiempos en servicio de los GSE mediante modelos de regresión, partiendo de una serie de mediciones tomadas en el Aeropuerto de Aeroparque. Cabe mencionar que este último contempla únicamente aeronaves de fuselaje angosto.

<b>TIEMPOS OPERATIVOS [s] - AERONAVES NARROW BODY</b>					
<b>GSE</b>	<b>ESPERA</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DESCONEXIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
CATERING TRUCK	34	102	270	99	505
LAVATORY VEHICLE	480	60	600	120	1.260
POTABLE WATER VEHICLE	0	60	60	60	180
BULK TRAIN	77	20	190	10	297
CONVEYOR BELT	98	27	720	113	958
APRON BUS	10	66	110	0	186
PASSENGER STAIRS	0	60	690	60	810
TOW TRACTOR	21	92	115	18	246
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	850	77	465	112	1.504

Tabla 24 - Tiempos operativos para aeronaves de fuselaje angosto (Fuente: [19])

Para aquellos vehículos cuyos tiempos no fueron estimados (vehículo de limpieza de aguas residuales) o la cantidad de muestras tomadas en campo no fueron significativas (vehículo de abastecimiento de agua potable y escalera de pasajeros), se adoptaron los tiempos teóricos brindados por el Airport Planning [20].

Por otra parte, en el caso de las aeronaves de fuselaje ancho, se adoptó que los tiempos operativos eran el doble de los expuestos para fuselaje angosto.

<b>TIEMPOS OPERATIVOS [s] - AERONAVES WIDE BODY</b>	
<b>GSE</b>	<b>TOTAL</b>
CATERING TRUCK	1.010
LAVATORY VEHICLE	2.520
POTABLE WATER VEHICLE	360
BULK TRAIN	594
CONVEYOR BELT	1.916
APRON BUS	372
PASSENGER STAIRS	1.620
TOW TRACTOR	492
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	3.008

Tabla 25 - Tiempos operativos para aeronaves de fuselaje ancho

De esta forma, los tiempos de servicio en plataforma que se dieron durante la semana bajo análisis fueron los siguientes:



<b>GSE</b>	<b>TIEMPOS DE SERVICIO SEMANAL [h]</b>
CATERING TRUCK	135,2
LAVATORY VEHICLE	328,2
POTABLE WATER VEHICLE	48,0
BULK TRAIN	319,7
CONVEYOR BELT	521,1
APRON BUS	101,7
PASSENGER STAIRS	221,5
TOW TRACTOR	69,2
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	389,3

*Tabla 26 - Tiempos totales de servicio en la semana analizada*

### **7.5.5 Determinación de la cantidad óptima de GSE**

Para la determinación de la cantidad óptima de vehículos de asistencia en tierra, se hizo uso de un programa desarrollado por el propio autor de la tesis. Su funcionamiento será descripto a continuación.

Las distancias entre puestos de estacionamiento fueron obtenidas por medio de un algoritmo de mínimas distancias. Para ello el usuario introduce una serie de nodos sobre una imagen a escala de la plataforma y a través de una matriz de costos se le indica las distancias entre los mismos y de qué forma están conectados.

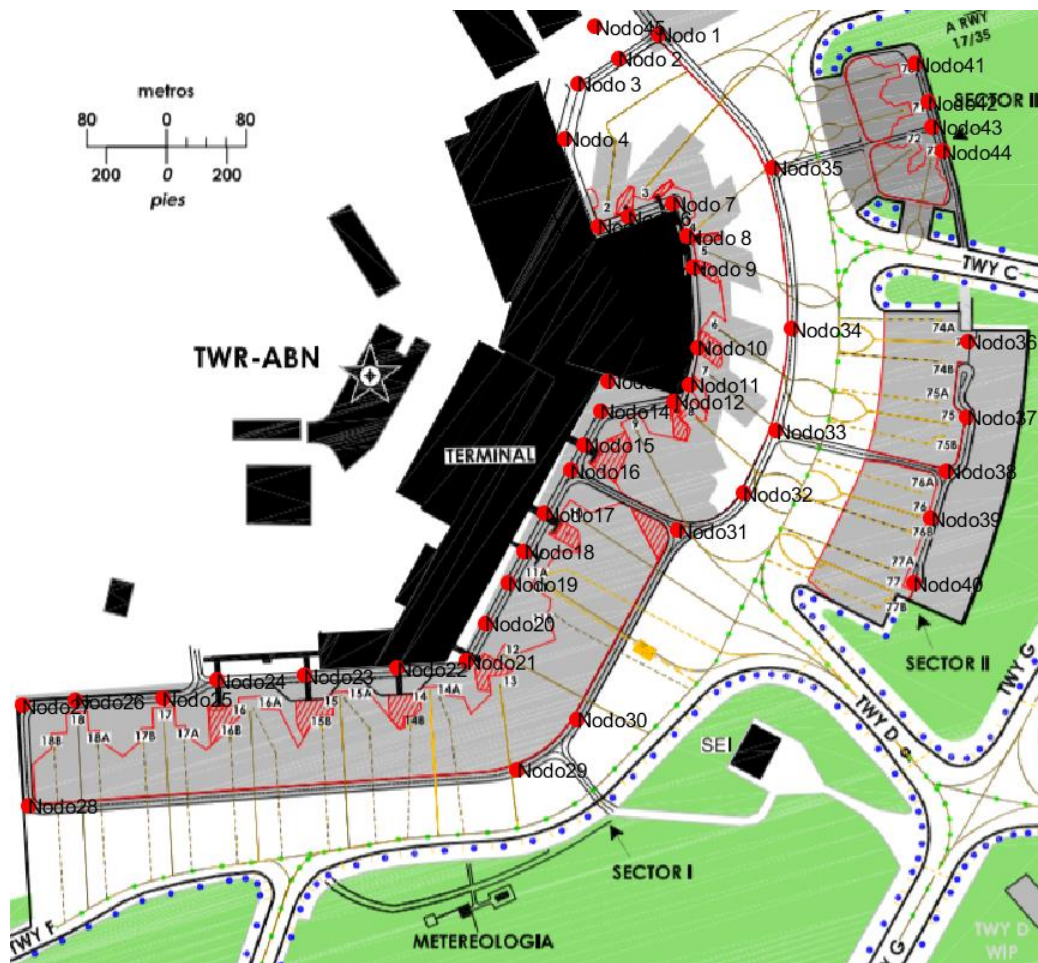


Figura 50 - Red de nodos establecidos en la plataforma comercial de pasajeros

Dichos nodos fueron posicionados sobre las vías de servicio de forma tal que se pueda restringir el movimiento de los GSE en plataforma.

De acuerdo a las distancias obtenidas, el programa calcula los tiempos de circulación mediante las ecuaciones **Ecuación 14** y **Ecuación 15** (ver **6.3**).

En segunda instancia se procedió a determinar la máxima cantidad de operaciones que puede realizar un mismo grupo vehicular de servicio. En el caso de los camiones de catering, vehículos de abastecimiento de agua potable y vehículos de limpieza de aguas residuales, el modelo compara las fechas de arribo de las aeronaves y determina a cuáles les puede brindar asistencia de acuerdo a los tiempos de servicio y circulación correspondientes. En el caso de las cintas transportadoras, escaleras de pasajeros, tractores de equipaje y buses de pasajeros, el modelo opera de forma similar pero contemplando tanto los arribos como las partidas. Finalmente, en el caso de los remolcadores de aeronaves, se consideran únicamente las partidas.

A su vez, cabe mencionar que en el caso de los tractores de equipaje y buses de pasajeros, se tiene en cuenta el tipo de vuelo, ya sea doméstico o internacional, de

forma tal que el vehículo se traslade a la base de operación correspondiente (hipódromo de equipaje internacional/doméstico o arribo de pasajeros internacional/doméstico).

Por otra parte, el modelo calcula los tiempos acumulados y de esta forma permite predecir la cantidad de operaciones que puede realizar un vehículo previo al agotamiento del combustible. Concluidas todas las operaciones, el mismo vuelve a la base y se le suministra combustible.

Una vez consumado el tiempo de carga, el vehículo estará disponible para ser utilizado nuevamente. De esta manera se establecieron los ciclos de carga y agotamiento de combustible para cada uno los GSE, dando como resultado final la cantidad óptima de vehículos necesarios para abastecer a la demanda de aeronaves de la semana analizada.

Los resultados brindados por el programa fueron los siguientes:

GSE	CANTIDAD ÓPTIMA DE VEHÍCULOS
CATERING TRUCK	4
LAVATORY VEHICLE	8
POTABLE WATER VEHICLE	3
BULK TRAIN	9
CONVEYOR BELT	12
APRON BUS	8
PASSENGER STAIRS	10
TOW TRACTOR	5
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	9

*Tabla 27 - Cantidad óptima de vehículos para la semana analizada*

## 7.6 Determinación del aporte contaminante gaseoso de los GSE

Para el cálculo del aporte contaminante gaseoso se asumieron algunas hipótesis

- Todos los vehículos GSE han entrado en servicio el mismo año (2014).
- Los vehículos utilizan combustible diésel.

### 7.6.1 Potencia el freno

La potencia al freno en HP de los vehículos antes mencionados es la siguiente:

GSE	POTENCIA AL FRENO [HP]
CATERING TRUCK	210
LAVATORY VEHICLE	235
POTABLE WATER VEHICLE	235
BULK TRAIN	86
CONVEYOR BELT	86
APRON BUS	290
PASSENGER STAIRS	65



GSE	POTENCIA AL FRENO [HP]
TOW TRACTOR	74
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	359

Tabla 28 - Potencia al freno (Fuente: EDMS)

## 7.6.2 Factores de emisión

Los factores de emisión correspondientes a cada grupo vehicular de servicio se presentan a continuación:

GSE	FACTOR DE EMISION [gr/HP.h]		
	CO	HC	NOX
CATERING TRUCK	0,11	0,13	0,28
LAVATORY VEHICLE	0,11	0,13	0,28
POTABLE WATER VEHICLE	0,11	0,13	0,28
BULK TRAIN	0,36	0,13	0,28
CONVEYOR BELT	0,36	0,13	0,28
APRON BUS	0,11	0,13	0,28
PASSENGER STAIRS	0,36	0,13	0,28
TOW TRACTOR	0,36	0,13	0,28
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,13	0,13	0,28

Tabla 29 - Factores de emisión (Fuente: [11])

## 7.6.3 Factores de deterioro

Por su parte, los factores de deterioro y sus parámetros asociados son los siguientes:

GSE	TIEMPO EN SERVICIO [AÑOS]	VIDA UTIL [AÑOS]
CATERING TRUCK	6	10
LAVATORY VEHICLE	6	13
POTABLE WATER VEHICLE	6	10
BULK TRAIN	6	13
CONVEYOR BELT	6	11
APRON BUS	6	10
PASSENGER STAIRS	6	14
TOW TRACTOR	6	14
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	6	14

Tabla 30 - Tiempos en servicio y de vida útil de los equipos GSE (Fuente: [11])

GSE	CO		HC		NOX	
	A	b	A	b	A	b
CATERING TRUCK	0,15	1	0,027	1	0,008	1
LAVATORY VEHICLE	0,15	1	0,027	1	0,008	1
POTABLE WATER VEHICLE	0,15	1	0,027	1	0,008	1
BULK TRAIN	0,15	1	0,027	1	0,008	1
CONVEYOR BELT	0,15	1	0,027	1	0,008	1

GSE	CO		HC		NOX	
	A	b	A	b	A	b
APRON BUS	0,15	1	0,027	1	0,008	1
PASSENGER STAIRS	0,15	1	0,027	1	0,008	1
TOW TRACTOR	0,15	1	0,027	1	0,008	1
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	0,15	1	0,027	1	0,008	1

Tabla 31 - Coeficientes auxiliares para factor de deterioro (Fuente: [11])

FACTOR DE DETERIORO			
GSE	CO	HC	NOX
CATERING TRUCK	1,090	1,016	1,005
LAVATORY VEHICLE	1,069	1,012	1,004
POTABLE WATER VEHICLE	1,090	1,016	1,005
BULK TRAIN	1,069	1,012	1,004
CONVEYOR BELT	1,082	1,015	1,004
APRON BUS	1,090	1,016	1,005
PASSENGER STAIRS	1,064	1,012	1,003
TOW TRACTOR	1,064	1,012	1,003
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	1,064	1,012	1,003

Tabla 32 - Factor de deterioro (Fuente: [11])

#### 7.6.4 Aporte contaminante

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en términos de aporte contaminante para todos los vehículos GSE durante la semana analizada en el Aeropuerto de Ezeiza.

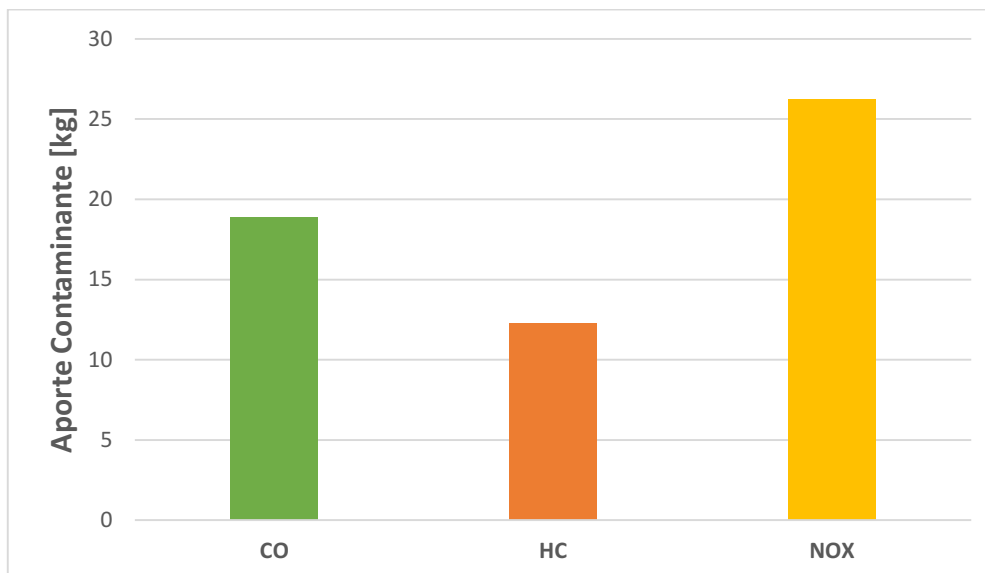


Figura 51 - Aporte contaminante total en la semana analizada

Se observa que los niveles más altos de contaminación están dados por el óxido de nitrógeno (26,21 kg), seguido por el monóxido de carbono (18,87 kg), y culminando con los hidrocarburos (12,28 kg). Tal como se había mencionado, el óxido de nitrógeno

afecta directamente al cambio climático y a la calidad del aire, mientras que el monóxido de carbono y los hidrocarburos solo atentan contra la calidad del aire.

Ya expuestos los valores de forma global se procede a determinar la incidencia individual de los vehículos según tipo de contaminante.

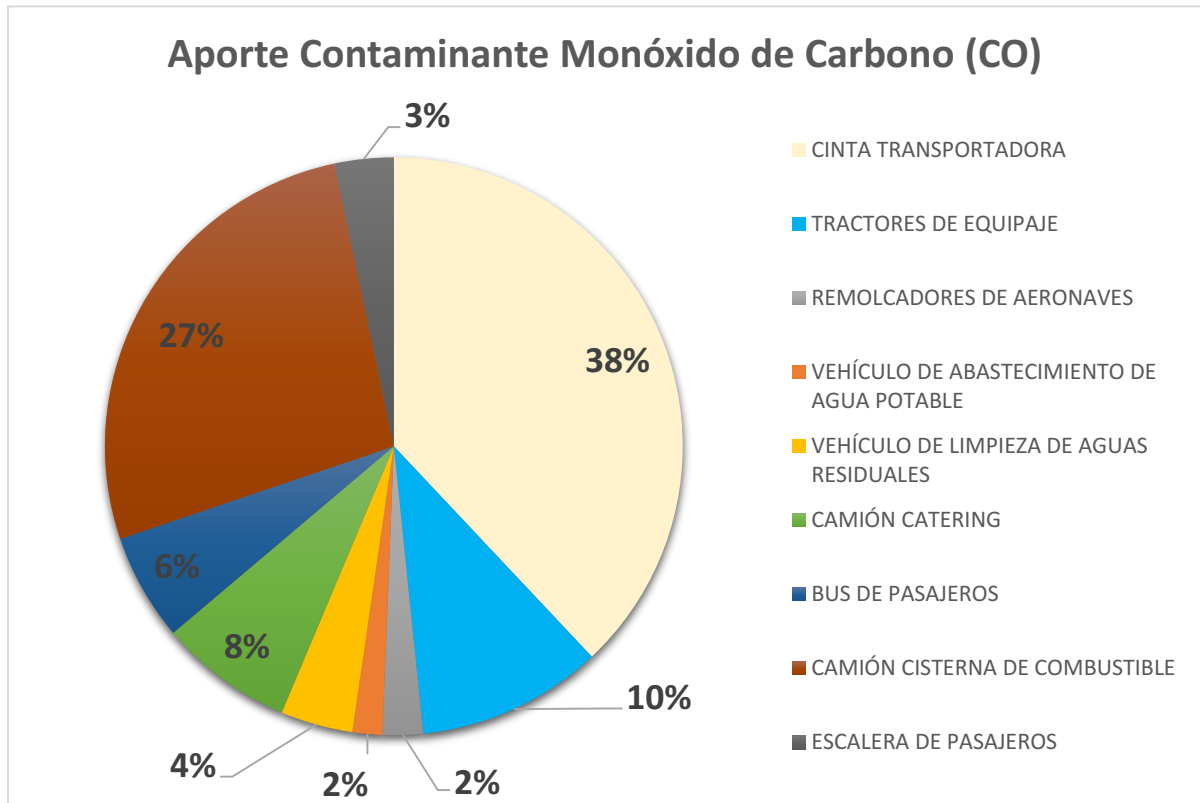


Figura 52 - Aporte contaminante del monóxido de carbono en la semana analizada

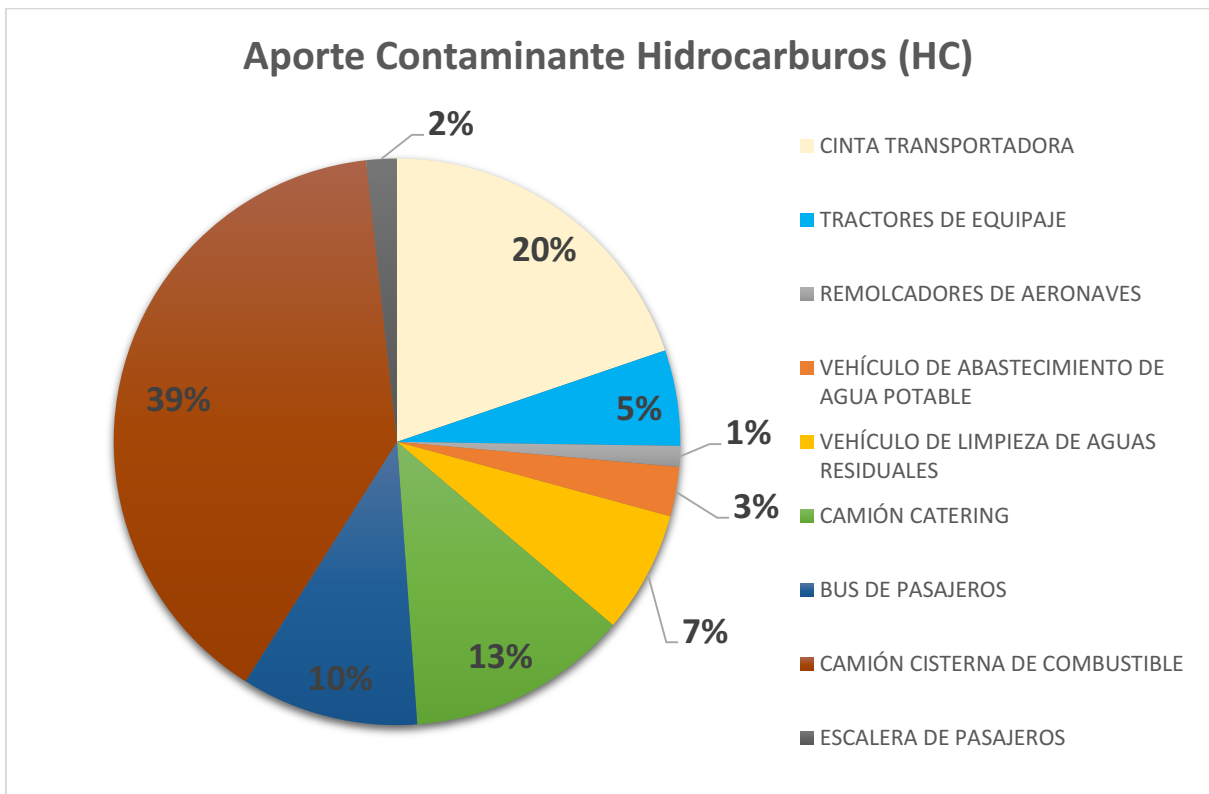


Figura 53 - Aporte contaminante de los hidrocarburos en la semana analizada

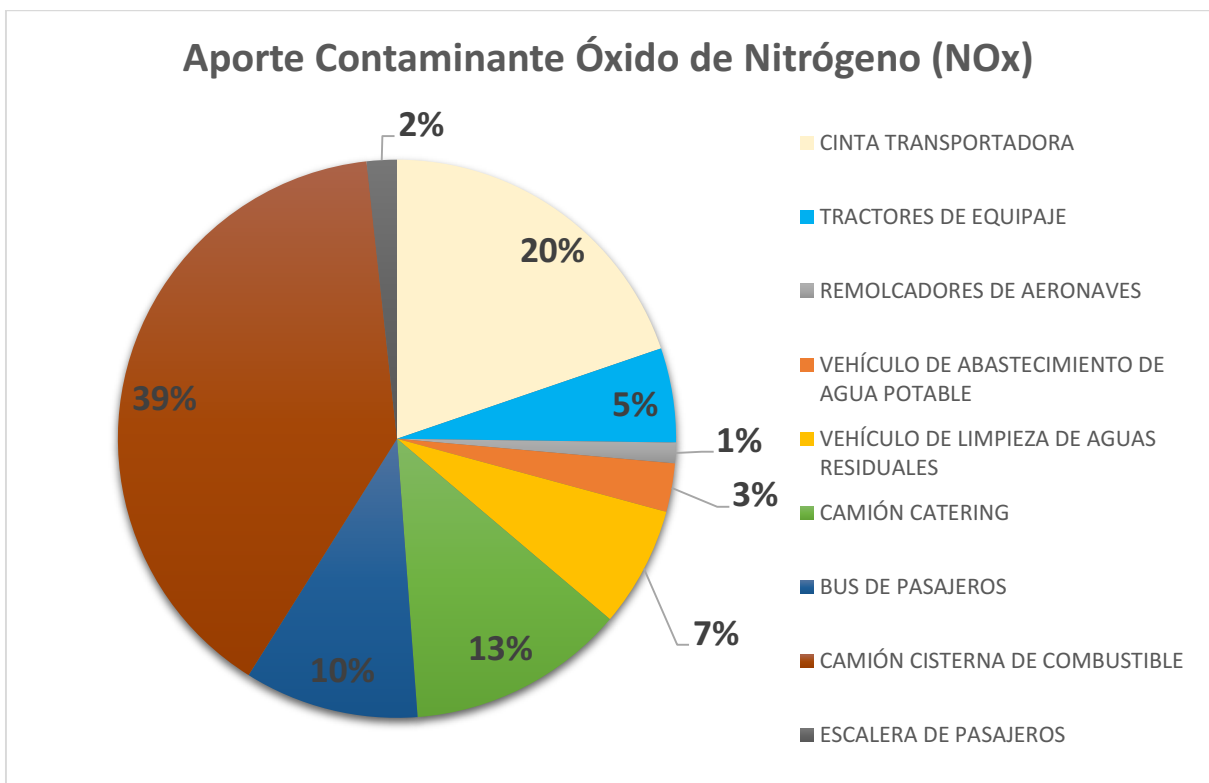


Figura 54 - Aporte contaminante del óxido de nitrógeno en la semana analizada

Los resultados obtenidos fueron analizados en el siguiente apartado.

## 7.7 Identificación de vehículos clave

De acuerdo a los resultados obtenidos en 7.6.4 se concluye que los vehículos de asistencia en tierra que generan el mayor aporte contaminante son:

- Camiones cisterna de combustible
- Cintas transportadoras
- Camiones de catering

Los camiones cisterna de combustible son los vehículos más contaminantes, representando el 35% de las emisiones totales en la semana analizada. El segundo lugar se encuentra ocupado por las cintas transportadoras con el 26%, seguido por los camiones de catering con el 11%.

En el caso de reemplazar los vehículos clave por vehículos eléctricos, se lograría una reducción semanal del 72% en las emisiones totales, equivalente a:

- 13,66 kg de Monóxido de Carbono (CO).
- 8,81 kg de Hidrocarburos (HC).
- 18,80 kg de Óxido de Nitrógeno (NOx).

Sin embargo, dicha reducción está directamente ligada a la disponibilidad de vehículos en el mercado.

### 7.7.1 Identificación de vehículos aptos para la conversión a eléctrico

De acuerdo a una extensa investigación basada en sitios web oficiales de los fabricantes de vehículos de apoyo en tierra eléctricos, se creó el siguiente listado que indica los equipos eGSE que se encuentran disponibles en el mercado:

GROUND SUPPORT EQUIPMENT			TIPO DE ENERGÍA	
CATEGORÍA DE SERVICIO	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN	DIESEL/GASOLINA	ELÉCTRICO
AIRCRAFT TURNAROUND SERVICES	CAT	CATERING TRUCK	✓	✓
	CLEAN	CLEANING TRUCK	✓	✓
	DI	DE-ICING TRUCK	✓	X
	FUEL	FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	✓	X
	LV	LAVATORY VEHICLE	✓	✓
	WV	POTABLE WATER VEHICLE	✓	✓
BAGGAGE AND CARGO HANDLING	BULK	BULK TRAIN	✓	✓
	CB	CONVEYOR BELT	✓	✓
	LDCL	LOWER DECK CARGO LOADER	✓	✓
	ULD	ULD TRAIN	✓	✓
GROUND POWER AND AIR DISTRIBUTION	AC	AIR CONDITIONING UNIT	✓	✓
	AS	AIR START UNIT	✓	X
	GPU	GROUND POWER UNIT	✓	✓

GROUND SUPPORT EQUIPMENT			TIPO DE ENERGÍA	
CATEGORÍA DE SERVICIO	ACRÓNIMO	DESCRIPCIÓN	DIESEL/GASOLINA	ELÉCTRICO
PASSENGER LOADING AND UNLOADING	BUS	APRON BUS	✓	✓
	PS	PASSENGER STAIRS	✓	✓
	PRMV	PRM VEHICLES*	✓	✓
AIRCRAFT MOVEMENT	TOW	TOW TRACTOR	✓	✓

Tabla 33 - Disponibilidad de eGSE

De la tabla anterior, se observa que hoy en día no se encuentran disponibles para la compra los siguientes tipos de vehículos eléctricos:

- Camión cisterna de combustible
- Vehículo anticongelante
- Unidad de arranque neumático

Se adjunta en el **ANEXO A** un inventario con los principales vehículos de asistencia en tierra eléctricos que se encuentran en el mercado con sus respectivas especificaciones técnicas. A modo ilustrativo se muestran algunos de los modelos:



Figura 55 - Vehículos eléctricos Charlotte America



Figura 56 - Vehículos eléctricos TLD, Harlan Global y Tug Technologies



Tal como se puede observar, el camión cisterna de combustible no tiene disponible una versión en formato eléctrico. Esto puede deberse a que se trata de un vehículo que requiere una potencia elevada por las grandes toneladas de combustible que debe transportar. Esto implicaría el uso de baterías muy pesadas y de gran capacidad. Por otra parte, en el caso de que las estaciones de carga funcionen con corriente alterna, resultaría riesgosa la circulación de energía eléctrica por un vehículo que dispone de grandes cantidades de combustible. Cualquier imperfecto técnico resultaría catastrófico.

Si bien las emisiones producidas por estos últimos no pueden ser eliminadas completamente, podrían proponerse soluciones en pos de disminuir esos niveles al mínimo. De todas formas, las emisiones correspondientes al resto de los vehículos clave (cintas transportadoras y camiones de catering) se vuelven nulas gracias a su reemplazo por vehículos eléctricos.

Haciendo un análisis global se podría decir que en el caso de electrificar los vehículos más contaminantes (cintas transportadoras y camiones de catering), la reducción de emisiones semanal sería la siguiente:

- 8,58 kg de Monóxido de Carbono (CO).
- 3,98 kg de Hidrocarburos (HC).
- 8,49 kg de Óxido de Nitrógeno (NOx).

Sin embargo, si se quiere electrificar todos los vehículos que tengan una versión en formato eléctrico, la reducción de emisiones semanal sería:

- 13,80 kg de Monóxido de Carbono (CO).
- 7,46 kg de Hidrocarburos (HC).
- 15,90 kg de Óxido de Nitrógeno (NOx).

## 7.8 Análisis operativo de los eGSE

Para el análisis operativo se adoptan como modelos de referencia aquellos eGSE que presentan parámetros intermedios en cuanto a capacidad de batería y potencia máxima. Los mismos fueron extraídos del inventario de vehículos eléctricos de asistencia a las aeronaves que se encuentra en el anexo.

TIPO DE GSE	eGSE	CAPACIDAD BATERIA [kWh]	POTENCIA MÁXIMA [kW]
CATERING TRUCK	Kamag E-Catering Wiesel	80	156
LAVATORY VEHICLE	Charlatte CLT200E - Electric Lav Truck	40	30
POTABLE WATER VEHICLE	Charlatte CWT300E - Electric Water Truck	40	30
BULK TRAIN	Mulag Comet 3E	50	30
CONVEYOR BELT	Charlatte CBL2000E - Electric Full Size Beltloader	34	30
APRON BUS	E.COBUS 3000	120	160
PASSENGER STAIRS	Tianyi Corporation JSTY5080KTE	47	22
TOW TRACTOR	Bison E 370	105	80

Tabla 34 - Especificaciones técnicas de los vehículos eGSE

Algunas de las características más relevantes de los eGSE antes mencionados son las siguientes:

- **Kamag E-Catering Wiesel:** Carga útil de 4500 kg.
- **Mercedes Vito E-Cell:** Capacidad para 7 personas y carga útil de 900 kg.
- **Charlatte CLT200E – Electric Lav Truck:** Capacidad del tanque de residuos de 760 litros y del tanque de agua (blue juice) de 380 litros.
- **Charlatte CWT300E – Electric Water Truck:** Capacidad de los tanques de agua frontal y trasero de 760 y 380 litros respectivamente.
- **Mulag Comet 3E:** Fuerza de tracción de 20 kN.
- **Charlatte CBL2000E – Electric Full Size Beltloader:** Velocidad de la cinta de 0,5 m/s.
- **E.COBUS 3000:** Capacidad para 110 personas.
- **Tiayi Corporation JSTY5080KTE:** Carga máxima de 7500 kg (aproximadamente 100 personas).
- **Bison E 370:** Fuerza de tracción de 105 kN y capacidad de transportar un MTOW máximo de 100 toneladas.

### 7.8.1 Tiempo de descarga de las baterías

En primera instancia se procederá a determinar los factores de carga correspondientes al modo manejo. Para ello será necesaria la especificación de la masa y el área frontal de los vehículos tomados en consideración:

TIPO DE GSE	eGSE	MASA [kg]	ÁREA FRONTAL [m <sup>2</sup> ]
CATERING TRUCK	Kamag E-Catering Wiesel	19.500	6,375
LAVATORY VEHICLE	Charlatte CLT200E - Electric Lav Truck	6.140	1,819
POTABLE WATER VEHICLE	Charlatte CWT300E - Electric Water Truck	6.140	1,819
BULK TRAIN	Mulag Comet 3E	5.000	2,686
CONVEYOR BELT	Charlatte CBL2000E - Electric Full Size Beltloader	4.432	4,709
APRON BUS	E.COBUS 3000	20.400	9,300
PASSENGER STAIRS	Tianyi Corporation JSTY5080KTE	8.050	8,856
TOW TRACTOR	Bison E 370	8.000	4,597

Tabla 35 - Masa y área frontal de los eGSE

Para el cálculo se adoptaron los mismos parámetros que aquellos utilizados para los vehículos de combustión interna:

PARÁMETROS	VALORES
COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA	0,006
COEFICIENTE DE RESISTENCIA	0,8
DENSIDAD [kg/m <sup>3</sup> ]	1,225
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD [m/s <sup>2</sup> ]	9,81

Tabla 36 - Parámetros de referencia

Una vez establecidos todos los factores intervinientes, se obtuvo la potencia instantánea para cada tiempo discretizado. Se muestra en el **ANEXO A**, el cómputo correspondiente a la cinta transportadora. El cálculo para el resto de los vehículos de asistencia a las aeronaves es similar al mostrado.

De esta forma, los factores de carga asociados a la circulación de los vehículos son los siguientes:

<b>TIPO DE GSE</b>	<b>FACTORES DE CARGA MODO MANEJO</b>
CATERING TRUCK	0,10
LAVATORY VEHICLE	0,16
POTABLE WATER VEHICLE	0,16
BULK TRAIN	0,13
CONVEYOR BELT	0,13
APRON BUS	0,10
PASSENGER STAIRS	0,28
TOW TRACTOR	0,08

*Tabla 37 - Factores de carga modo manejo*

En segunda instancia se muestran los factores de carga correspondientes al modo operación:

<b>FACTORES DE CARGA MODO OPERACIÓN – DESCARGA</b>				
<b>GSE</b>	<b>ESPERA</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DESCONEXIÓN</b>
CATERING TRUCK	0,53	0,53	0,00	0,53
LAVATORY VEHICLE	0,25	0,25	0,00	0,25
POTABLE WATER VEHICLE	0,20	0,20	0,00	0,20
BULK TRAIN	0,36	0,36	0,55	0,36
CONVEYOR BELT	0,36	0,36	0,00	0,36
APRON BUS	0,20	0,00	0,20	0,00
PASSENGER STAIRS	0,57	0,00	0,00	0,00
TOW TRACTOR	0,00	0,00	0,00	0,00

*Tabla 38 - Factores de carga modo operación – Descarga (Fuente: [10])*

<b>FACTORES DE CARGA MODO OPERACIÓN – CARGA</b>				
<b>GSE</b>	<b>ESPERA</b>	<b>CONEXIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DESCONEXIÓN</b>
CATERING TRUCK	0,53	0,53	0,00	0,53
LAVATORY VEHICLE	0,25	0,25	0,25	0,25
POTABLE WATER VEHICLE	0,20	0,20	0,20	0,20
BULK TRAIN	0,36	0,36	0,55	0,36
CONVEYOR BELT	0,36	0,36	0,00	0,36
APRON BUS	0,20	0,00	0,20	0,00
PASSENGER STAIRS	0,57	0,00	0,00	0,00
TOW TRACTOR	0,40	0,40	0,80	0,40

*Tabla 39 - Factores de carga modo operación – Carga (Fuente: [10])*

Promediando los factores de carga presentados previamente se obtuvieron los factores de carga y las potencias medias asociadas:

GSE	FACTORES DE CARGA MEDIOS	POTENCIA MEDIA [kW]
CATERING TRUCK	0,28	44,0
LAVATORY VEHICLE	0,19	5,8
POTABLE WATER VEHICLE	0,16	4,8
BULK TRAIN	0,35	10,6
CONVEYOR BELT	0,24	7,2
APRON BUS	0,10	16,1
PASSENGER STAIRS	0,17	3,7
TOW TRACTOR	0,42	33,3

*Tabla 40 - Factores de carga medios y potencia media*

Finalmente, contando con la capacidad de la batería y la potencia media de cada vehículo se obtienen los tiempos de descarga:

TIPO DE GSE	TIEMPO DE DESCARGA [h]
CATERING TRUCK	1,8
LAVATORY VEHICLE	6,9
POTABLE WATER VEHICLE	8,3
BULK TRAIN	4,7
CONVEYOR BELT	4,7
APRON BUS	7,5
PASSENGER STAIRS	12,4
TOW TRACTOR	3,2

*Tabla 41 - Tiempos de descarga de las baterías*

Dichos tiempos se corresponden con la descarga de una batería operando a potencia media de forma continua.

### 7.8.2 Tiempo de carga de las baterías

Para los tiempos de carga de las baterías se adoptaron estaciones de carga de 10 kW. Esto se debe a que las estaciones que presentan mayores potencias no brindan mayores beneficios en términos de cantidad de vehículos o de aporte contaminante. Tomando esto como referencia, se obtuvieron los siguientes valores:

TIPO DE GSE	eGSE	TIEMPO DE CARGA [h]
CATERING TRUCK	Kamag E-Catering Wiesel	8,0
LAVATORY VEHICLE	Charlatte CLT200E - Electric Lav Truck	4,0
POTABLE WATER VEHICLE	Charlatte CWT300E - Electric Water Truck	4,0
BULK TRAIN	Mulag Comet 3E	5,0
CONVEYOR BELT	Charlatte CBL2000E - Electric Full Size Beltloader	3,4
APRON BUS	E.COBUS 3000	12,0
PASSENGER STAIRS	Tianyi Corporation JSTY5080KTE	4,7
TOW TRACTOR	Bison E 370	10,5

Tabla 42 - Tiempos de carga de las baterías

### 7.8.3 Influencia de los tiempos de carga y descarga en las operaciones

Una vez establecidos los tiempos de carga y descarga de los vehículos, se hizo uso del modelo de desarrollo propio que se mencionó previamente para determinar la cantidad de vehículos eléctricos necesarios para abastecer a la demanda de aeronaves vigentes en la semana analizada.

Cabe mencionar que se adoptó la misma base de carga que la establecida para los vehículos a combustible fósil. La justificación fue exployada en 7.5.1.

Los resultados arrojados por el programa fueron:

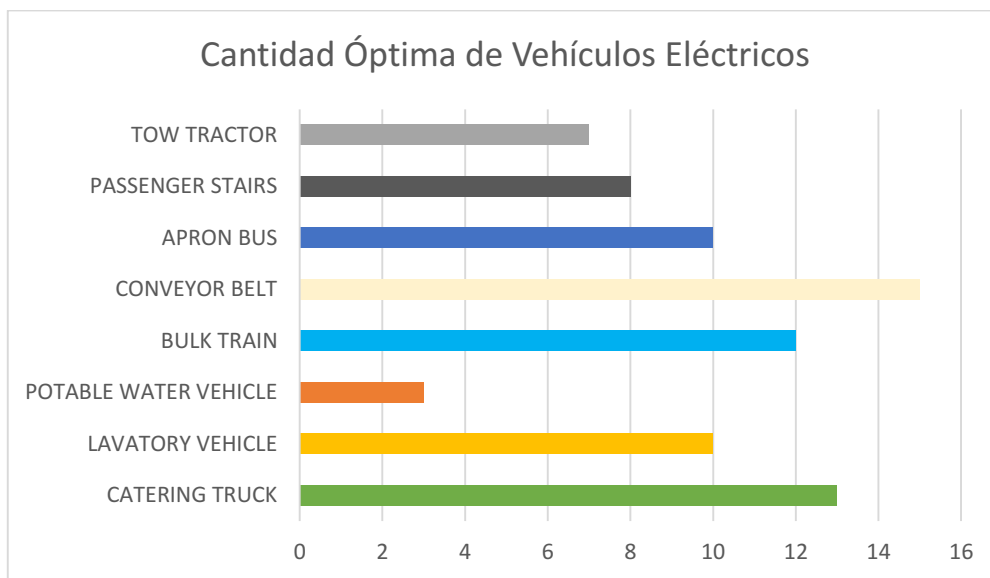


Figura 57 - Cantidad óptima de vehículos eléctricos

El hecho de trabajar con la cantidad óptima de vehículos, hace que la operatividad aeroportuaria se desenvuelva de manera eficiente, cubriendo la llegada y la partida de las aeronaves con los vehículos correspondientes.

Los gráficos que se muestran a continuación representan los ciclos de carga y descarga de los vehículos durante la semana analizada.

### 7.8.3.1 Remolcadores de aeronaves

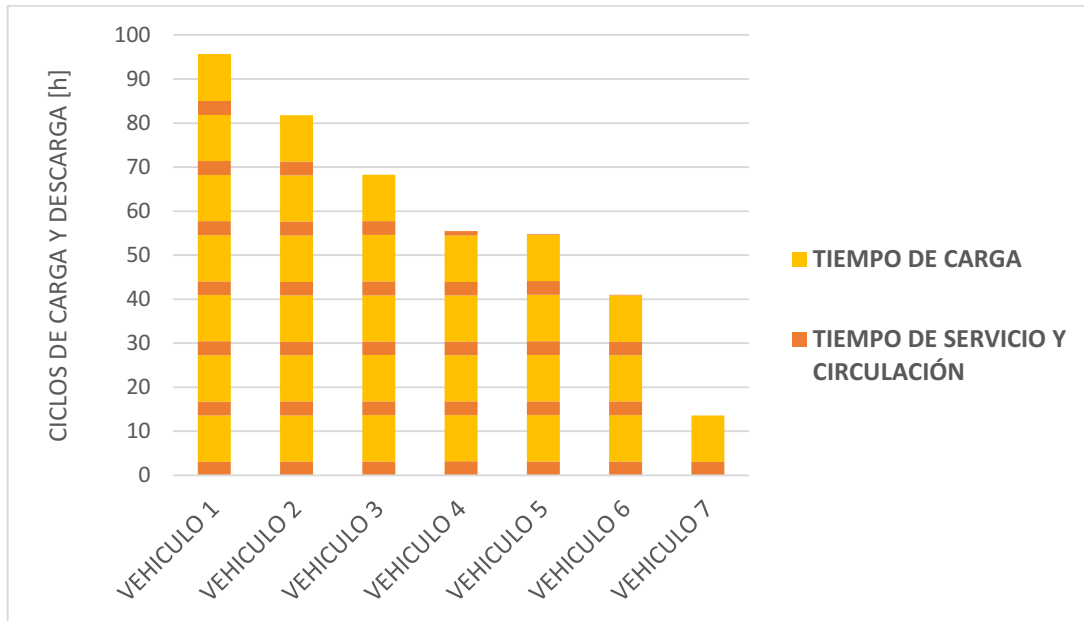


Figura 58 - Ciclos de carga y descarga remolcadores de aeronaves

### 7.8.3.2 Escaleras de pasajeros

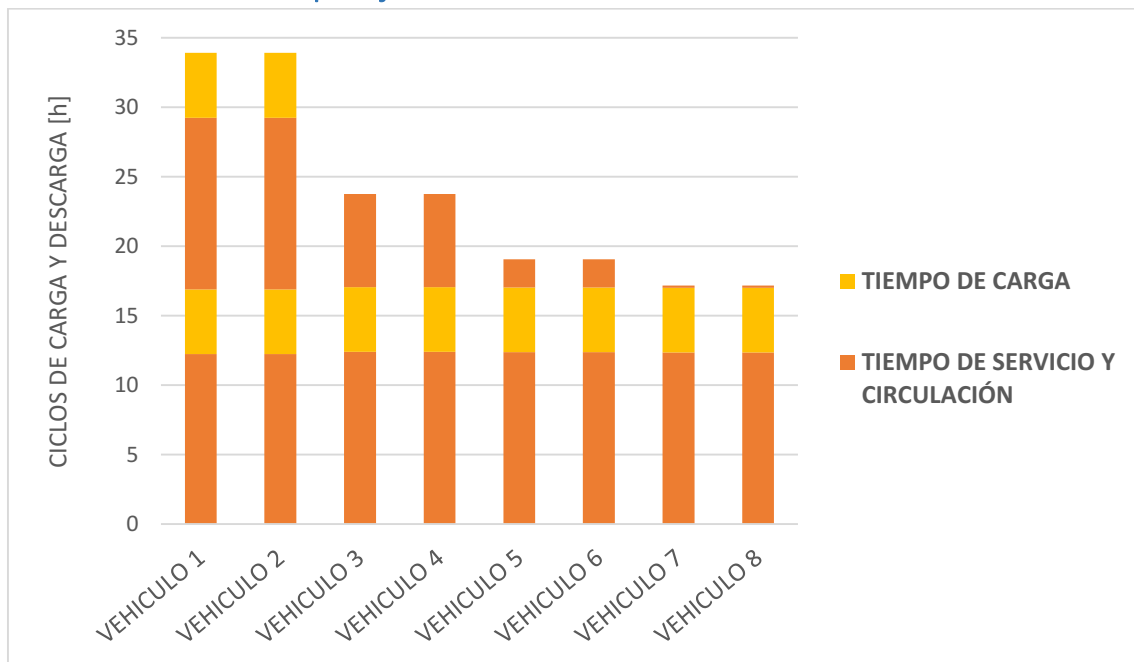


Figura 59 - Ciclos de carga y descarga escaleras de pasajeros



### 7.8.3.3 Buses de pasajeros

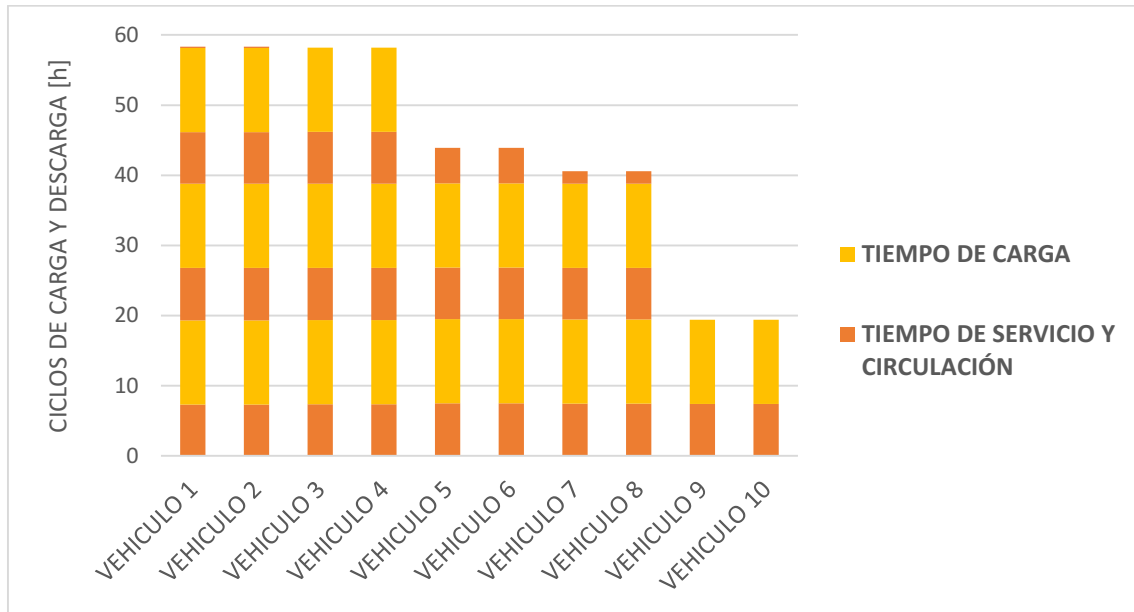


Figura 60 - Ciclos de carga y descarga buses de pasajeros

### 7.8.3.4 Cintas transportadoras

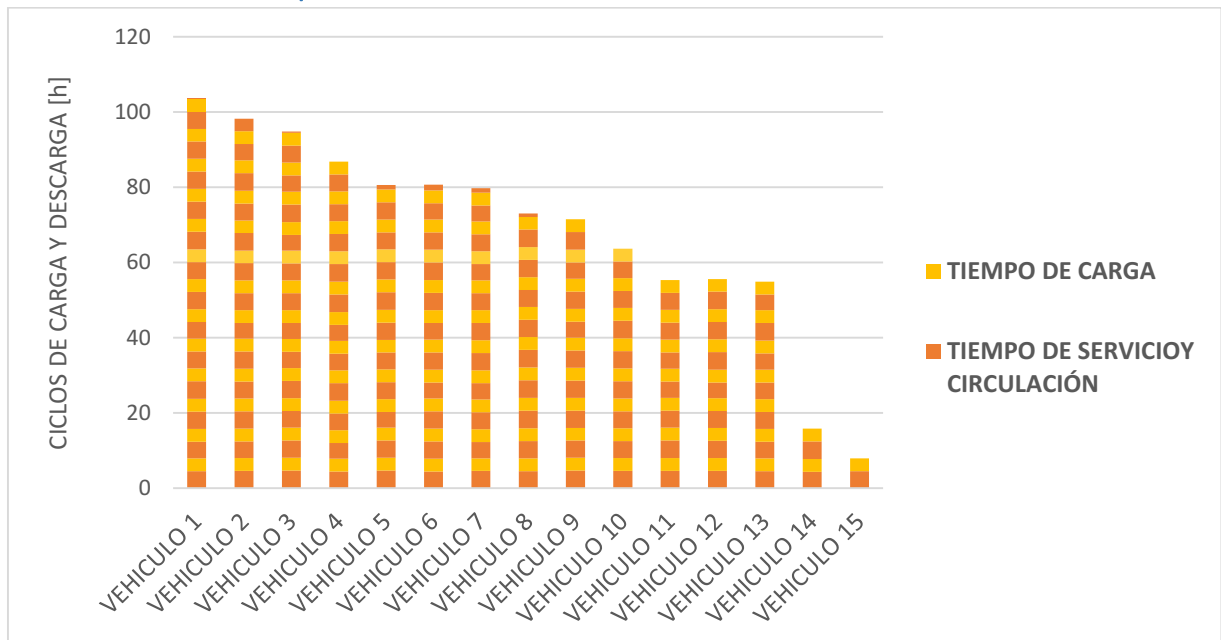


Figura 61 - Ciclos de carga y descarga cintas transportadoras

### 7.8.3.5 Tractores de equipaje

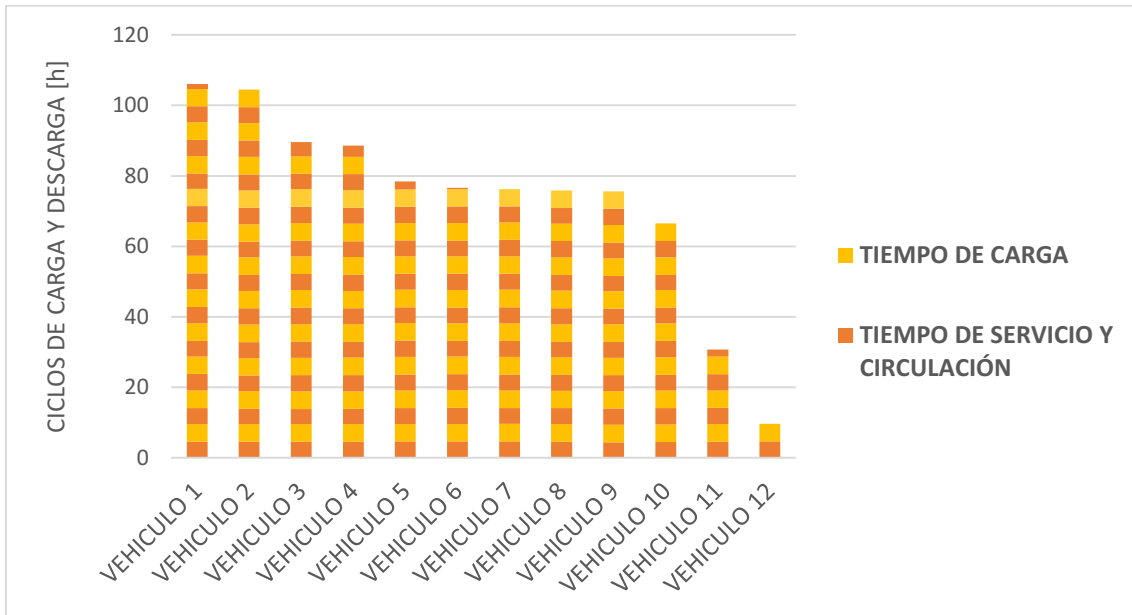


Figura 62 - Ciclos de carga y descarga tractores de equipaje

### 7.8.3.6 Vehículo de abastecimiento de agua potable

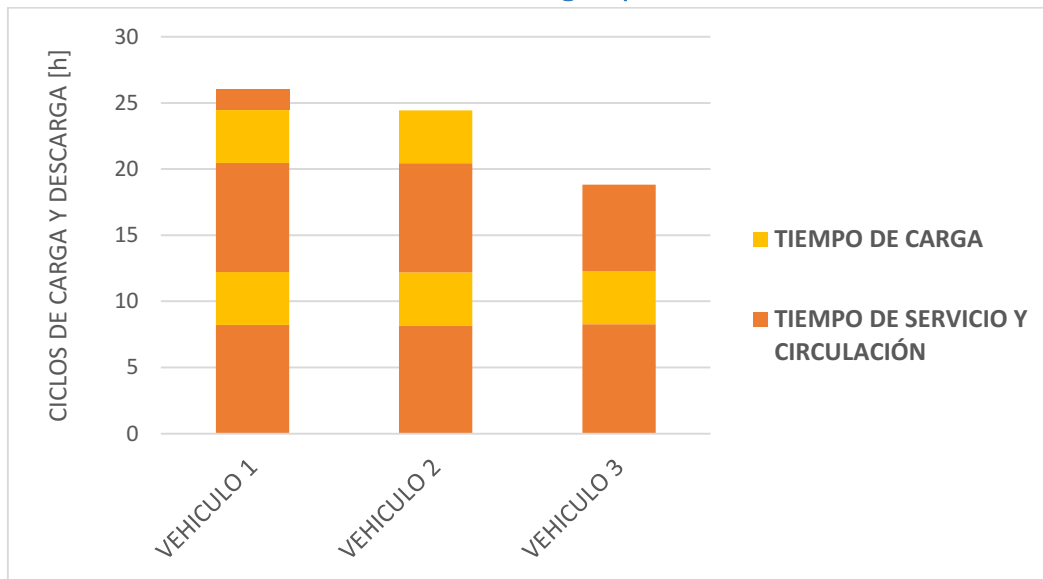


Figura 63 - Ciclos de carga y descarga vehículos de abastecimiento de agua potable

### 7.8.3.7 Vehículo de limpieza de aguas residuales

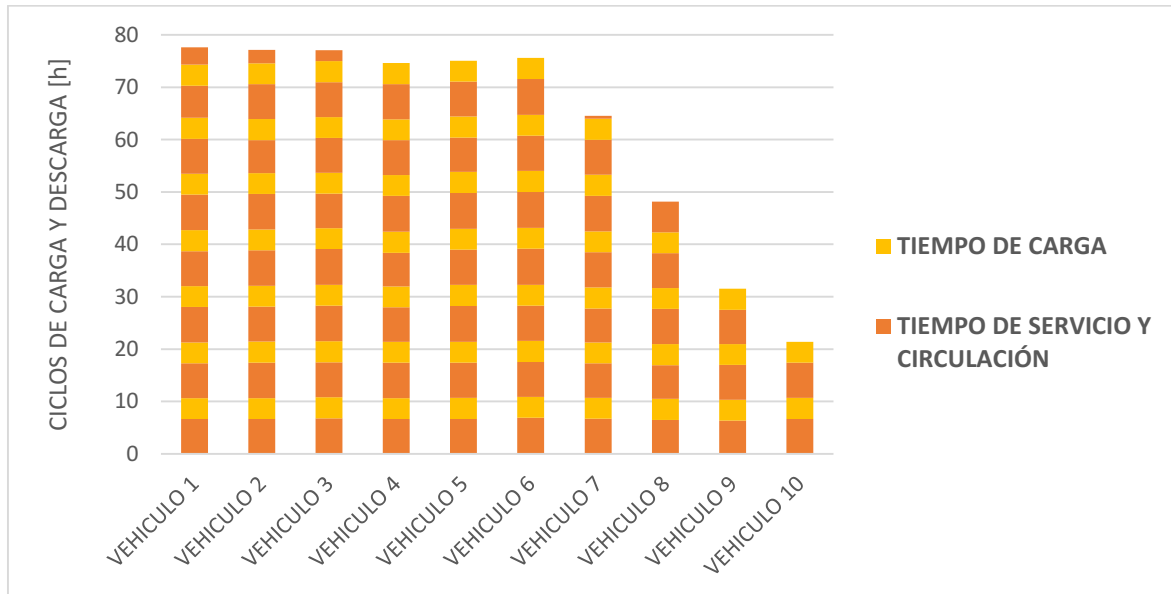


Figura 64 - Ciclos de carga y descarga vehículos de limpieza de aguas residuales

### 7.8.3.8 Camión de catering

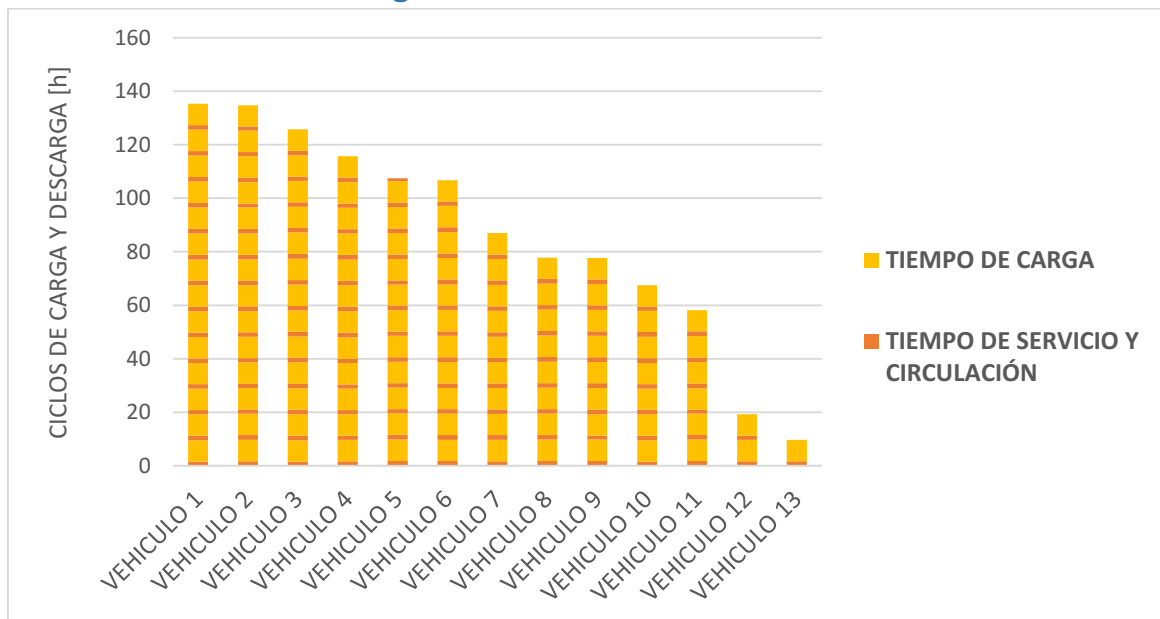


Figura 65 - Ciclos de carga y descarga camiones de catering

## 7.9 Estimación del consumo eléctrico de los eGSE

Uno de los parámetros requeridos para el cálculo del consumo eléctrico es el tiempo de funcionamiento de los vehículos en la semana analizada. Del programa se obtuvieron los siguientes valores:

eGSE	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO SEMANAL [h]
CATERING TRUCK	195,1
LAVATORY VEHICLE	394,8

eGSE	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO SEMANAL [h]
POTABLE WATER VEHICLE	49,3
BULK TRAIN	426,8
CONVEYOR BELT	582,5
APRON BUS	176,8
PASSENGER STAIRS	141,2
TOW TRACTOR	95,4

*Tabla 43 - Tiempo de funcionamiento de los eGSE en la semana analizada*

Finalmente, el consumo eléctrico semanal de los eGSE se muestra en la siguiente tabla:

eGSE	CONSUMO ELÉCTRICO [kWh]
CATERING TRUCK	8.577
LAVATORY VEHICLE	2.289
POTABLE WATER VEHICLE	237
BULK TRAIN	4.514
CONVEYOR BELT	4.217
APRON BUS	2.842
PASSENGER STAIRS	529
TOW TRACTOR	3.173

*Tabla 44 - Consumo eléctrico de los eGSE en la semana analizada*

Se observa que los camiones de catering presentan el mayor consumo eléctrico (8.577 kWh) con una notable diferencia por sobre los demás. Esto se debe a que la estación de carga de dichos vehículos se encuentra lo suficientemente alejada de la plataforma, haciendo que sean requeridos una mayor cantidad vehículos para cubrir con la demanda de aeronaves. A su vez, se trata de un vehículo que consume gran cantidad de energía en servicio, dado que su funcionamiento se basa en un sistema de elevación de carga.

### 7.9.1 Consumo de combustible de los GSE

Los tiempos de funcionamiento semanal de los vehículos a combustión interna obtenidos por el modelo fueron:

GSE	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO SEMANAL [h]
CATERING TRUCK	158,2
LAVATORY VEHICLE	356,9
POTABLE WATER VEHICLE	69,0
BULK TRAIN	402,3
CONVEYOR BELT	563,2
APRON BUS	172,9
PASSENGER STAIRS	253,4
TOW TRACTOR	92,9
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	414,3

*Tabla 45 - Tiempo de funcionamiento de los GSE en la semana analizada*

Ya definidos los tiempos se procede a determinar los litros de combustible consumidos por los mismos:

GSE	LITROS CONSUMIDOS [Litros]
CATERING TRUCK	375
LAVATORY VEHICLE	693
POTABLE WATER VEHICLE	124
BULK TRAIN	698
CONVEYOR BELT	1.075
APRON BUS	510
PASSENGER STAIRS	483
TOW TRACTOR	221
FUEL HYDRANT DISPENSER OR TANKER	1.152

Tabla 46 - Litros consumidos por los GSE en la semana analizada

### 7.9.2 Ahorro de combustible

Ya expresado el consumo de combustible de los vehículos a combustión interna y el consumo eléctrico de los vehículos eléctricos, se procede a determinar el ahorro de combustible semanal. Para ello se fijaron los siguientes parámetros:

PARÁMETROS	VALORES
PRECIO DEL COMBUSTIBLE POR LITRO [US\$]	0,787
PRECIO DE LA ELECTRICIDAD POR kWh [US\$]	0,033

Tabla 47 - Precio del combustible y de la electricidad en Argentina

Los gastos correspondientes en materia de combustible son:

GSE	GASTO EN COMBUSTIBLE [US\$]	GASTO EN ELECTRICIDAD [US\$]
CATERING TRUCK	295	283
LAVATORY VEHICLE	545	76
POTABLE WATER VEHICLE	98	8
BULK TRAIN	549	149
CONVEYOR BELT	846	139
APRON BUS	401	94
PASSENGER STAIRS	380	17
TOW TRACTOR	174	105

Tabla 48 - Gastos en combustible y electricidad en la semana analizada

Finalmente el ahorro de combustible producto del cambio a vehículos eléctricos se ve evidenciado en la siguiente tabla:

GSE	AHORRO SEMANAL [US\$]
CATERING TRUCK	12
LAVATORY VEHICLE	470
POTABLE WATER VEHICLE	90
BULK TRAIN	400
CONVEYOR BELT	707



GSE	AHORRO SEMANAL [US\$]
APRON BUS	308
PASSENGER STAIRS	363
TOW TRACTOR	69

Tabla 49 - Ahorro semanal en combustible

Se observa que los tractores de equipaje y las cintas transportadoras son los vehículos que presentan el mayor ahorro en términos de combustible.

Tal como se había mencionado en un inicio, la electrificación de los GSE trae aparejadas muchas ventajas. Luego de este análisis puede decirse que el ahorro semanal producto del cambio de combustible es de aproximadamente US\$ 2.400.

## 7.10 Determinación de los requerimientos de la infraestructura

Si bien ya se había definido una localización para las estaciones de carga, resta por verificar que los vehículos eléctricos y la infraestructura en cuestión cuentan con el espacio suficiente como para albergar a todos los vehículos.

Considerando que el espacio disponible es de  $20.000 m^2$  y que cada estación de carga ocupa un área de  $0,27 m^2$ , se muestra un margen holgado para la disposición de las mismas. Para evidenciar mejor esta situación, se presenta un renderizado del sector de carga realizado por el propio autor de la tesis. En el mismo se muestra una posible configuración para las estaciones de carga y vehículos asociados:

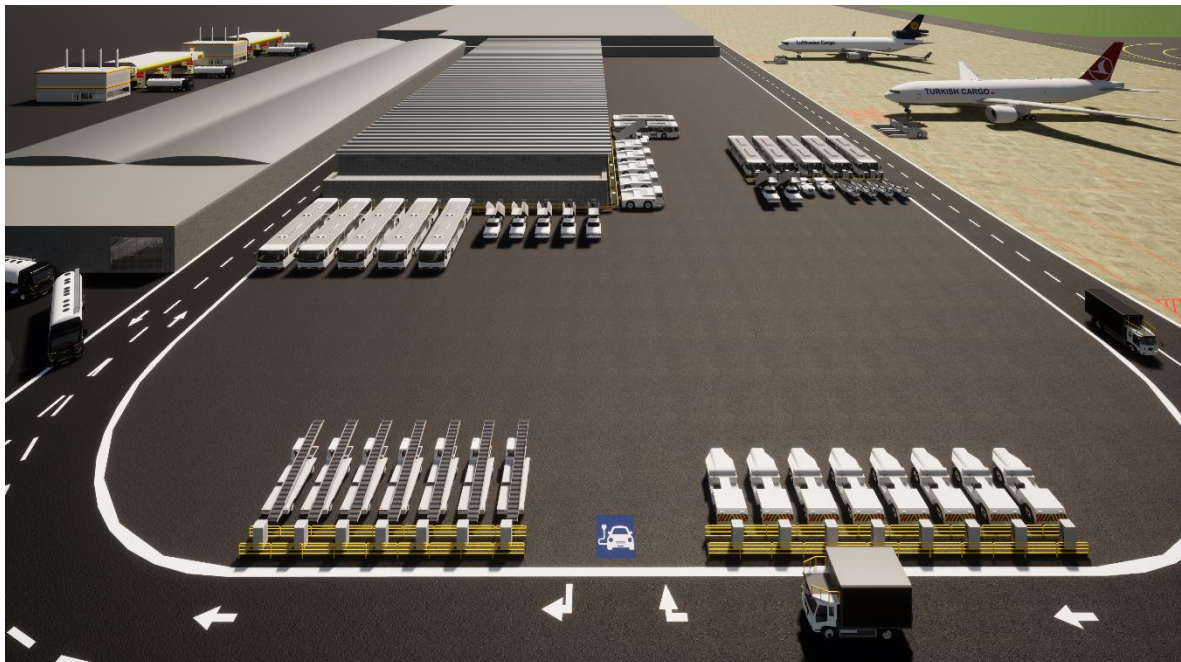


Figura 66 - Vista frontal – Estación de carga Aeropuerto Internacional Ezeiza

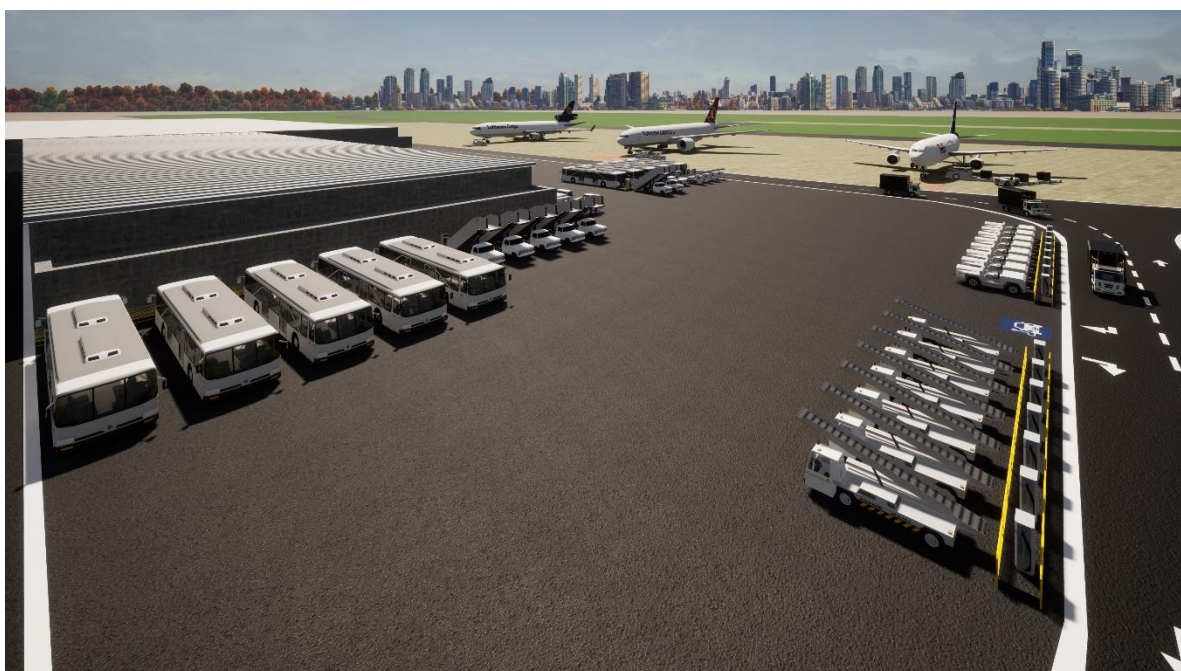


Figura 67 - Vista lateral – Sector de carga Aeropuerto Internacional Ezeiza

Otro punto de interés es el cálculo de la potencia total a instalar en el predio. Teniendo en cuenta que todas las estaciones de carga son de 10 kW se tiene que:

eGSE	CANTIDAD DE ESTACIONES DE CARGA	POTENCIA TOTAL A INSTALAR [kW]
CATERING TRUCK	13	130
LAVATORY VEHICLE	10	100
POTABLE WATER VEHICLE	3	30
BULK TRAIN	12	120
CONVEYOR BELT	15	150
APRON BUS	10	100
PASSENGER STAIRS	8	80
TOW TRACTOR	7	70
<b>POTENCIA TOTAL [kW]</b>		<b>780</b>

Tabla 50 - Potencia total a instalar en el predio

Dado que las estaciones de carga de Posicharge de 10 kW son de puerto único, el Aeropuerto deberá contar con 78 puestos de carga de los cuales 13 se encontraran en las plantas de catering, 13 en la planta de agua y las restantes en el sector de carga ubicado en las cercanías de la plataforma comercial de pasajeros.

## 7.11 Análisis potencial de fuentes de energía alternativa

El análisis a efectuar en el presente apartado consta de una primera aproximación, con el objeto de dar un orden de magnitud sobre el posible uso de una fuente de energía alternativa. No se trata de un análisis de costos, sino de un estudio que permita comparar el consumo eléctrico de los GSE frente a la generación de energía de dichas plantas.

La gráfica que se presenta a continuación muestra la distribución de parques de energía renovable en Argentina y la potencia instalada por región.

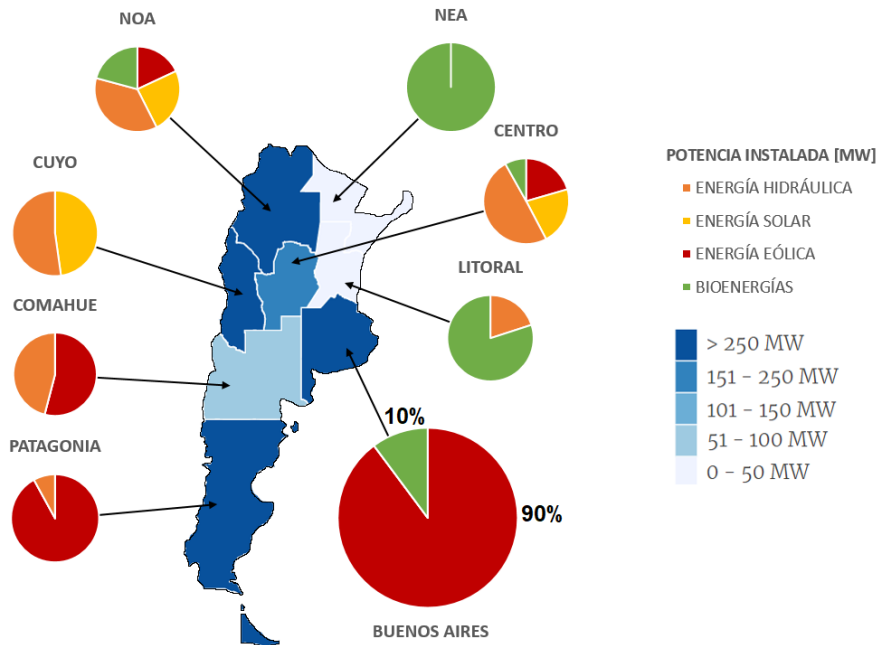


Figura 68 - Potencia instalada por región (Datos actualizados al 2019 [21])

Tal como se puede observar, la mayor parte de la potencia instalada en la provincia de Buenos Aires se genera a partir de parques eólicos, mientras que el porcentaje restante se corresponde con bioenergías.

A partir del estudio de las condiciones del entorno aeroportuario se determinó que el mayor aprovechamiento en términos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía alternativa se logra a partir del movimiento de las masas de aire. Por esta razón, dada la predominancia de vientos en la región, se propone el análisis potencial para el desarrollo de una central eólica en el entorno del emplazamiento aeroportuario.

### 7.11.1 Análisis de viabilidad

De acuerdo a diversos ensayos se comprobó que la generación de energía eléctrica a partir de aerogeneradores es viable siempre y cuando los vientos sean superiores a  $5 \text{ m/s}$ . La velocidad media anual a  $50 \text{ m}$  de altura en el Aeropuerto de Ezeiza es de  $5,79 \text{ m/s}$  (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), cumpliendo así con la velocidad mínima impuesta con anterioridad.

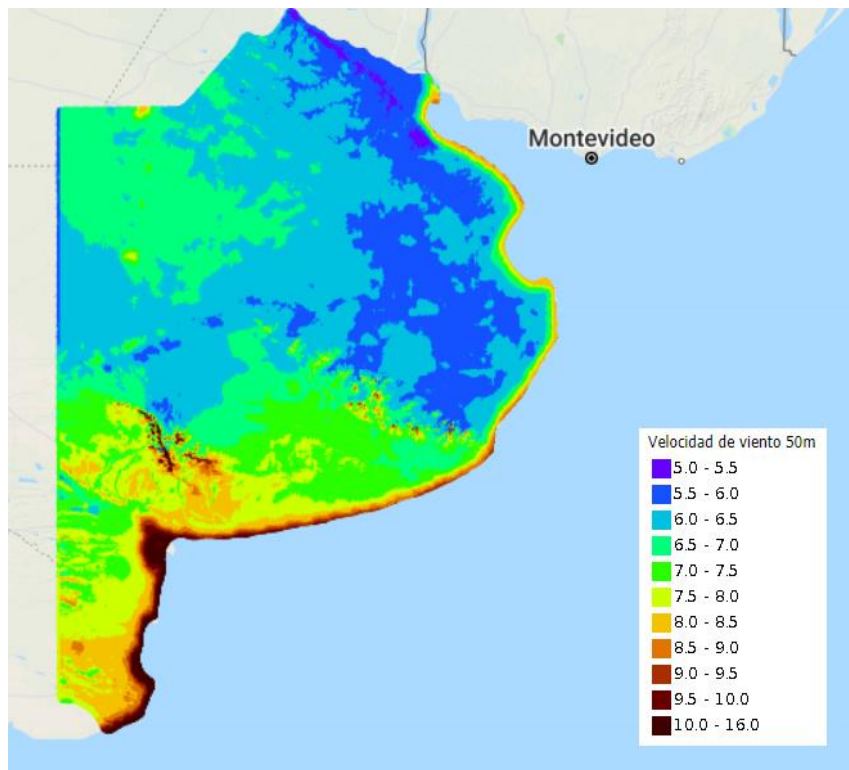


Figura 69 - Velocidad media anual de vientos a 50m – Provincia de Buenos Aires

### 7.11.2 Selección de los aerogeneradores

Los aerogeneradores suelen clasificarse de acuerdo a la velocidad de incidencia promedio que soportan. De esta forma pueden agruparse en 5 clases:

- **CLASE I:** Velocidad promedio de 10  $m/s$ .
- **CLASE II:** Velocidad promedio de 8,5  $m/s$ .
- **CLASE III:** Velocidad promedio de 7,5  $m/s$ .
- **CLASE IV:** Velocidad promedio de 6  $m/s$ .
- **CLASE S:** Los valores deben ser especificados por el diseñador.

Dado que la velocidad media anual del Aeropuerto ronda los 6  $m/s$ , podrá seleccionarse cualquier clase de aerogenerador. A continuación se presentan algunos modelos de aerogeneradores con sus respectivas características físicas:

AEROGENERADOR	DIÁMETRO DEL ROTOR [m]	ALTURA [m]
VESTAS - V52	52	55
		65
		74
VESTAS - V80	80	60
		78
		100
ENERCON - E33	33,4	50
ENERCON - E44	44	55
		65

AEROGENERADOR	DIÁMETRO DEL ROTOR [m]	ALTURA [m]
ENERCON - E48	48	50
		60
		75
IMPISA-IWP-85	85	60

Tabla 51 - Características físicas de los aerogeneradores

En el apartado **6.7** se determinó que el consumo eléctrico semanal de los eGSE rondaba los  $26 MWh$ . Si ahora se extrapola este dato, se puede obtener el consumo eléctrico anual:

$$CE_{Anual} = 1356 MWh$$

### Ecuación 21 – Consumo eléctrico anual de los eGSE

Ya establecido el consumo eléctrico anual provisto por los vehículos eléctricos resta por calcular la energía anual producida por los aerogeneradores. Para ello se hizo uso del MEEBA, una herramienta de pre factibilidad de alta calidad destinada a la prospección de oportunidades de inversión en Proyectos Eólicos de distintas escalas. Dicha aplicación recopila la velocidad media del viento, las propiedades del aire y los distintos parámetros físicos de los aerogeneradores (diámetro del rotor y altura), para así poder hacer un pronóstico de generación de energía anual. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

AEROGENERADOR	ALTURA [m]	ENERGÍA PRODUCIDA ANUAL [MWh]	FACTOR DE CAPACIDAD [%]
VESTAS - V52	55	1.468	19,72
	65	1.544	20,74
	74	1.605	21,56
VESTAS - V80	60	3.554	20,29
	78	3.849	21,97
	100	4.141	23,64
ENERCON - E33	50	645	22,34
ENERCON - E44	55	1.203	15,26
	65	1.269	16,10
ENERCON - E48	50	1.346	19,21
	60	1.425	20,34
	75	1.526	21,79
IMPISA-IWP-85	60	3.862	22,05

Tabla 52 - Energía producida anual y factor de capacidad de los aerogeneradores

Teniendo en cuenta que el consumo eléctrico anual de los eGSE es de  $1356 MWh$ , cualquiera de los aerogeneradores antes mencionados, salvo el Enercon - E33 (en cuyo caso se requerirían 2 unidades), E-44 y E-48 de  $50 m$ , podría abastecer con la suficiente energía como para dar movilidad a toda la flota de vehículos eléctricos.



En este caso particular se elegirá el aerogenerador Enercon E-48 de 60 m ya que la energía generada supera ampliamente la demandada por los eGSE; su altura limitada facilita en gran medida su traslado hacia el Aeropuerto y genera menos restricciones en cuanto a su ubicación (superficie limitadora de obstáculos); y a su vez, presenta un factor de capacidad intermedio. Este último hace referencia al cociente entre la energía real producida por el aerogenerador durante un período (generalmente anual) y la energía producida por el mismo si hubiese trabajado a plena carga todo el tiempo.

### 7.11.3 Localización de los aerogeneradores

El espaciado entre los aerogeneradores es otro parámetro de gran importancia ya que el efecto de estela que producen los mismos puede afectar negativamente a los colindantes, generando pérdidas. En este caso no será un problema dado que se emplazará únicamente un aerogenerador.

Para obtener un mayor aprovechamiento de la potencia entregada por el aerogenerador, el mismo deberá posicionarse perpendicularmente a la dirección predominante de los vientos. Para ello se hará uso de la rosa de los vientos de la zona, la cual indica la frecuencia de ocurrencia de vientos a 50m y 80m de altura.

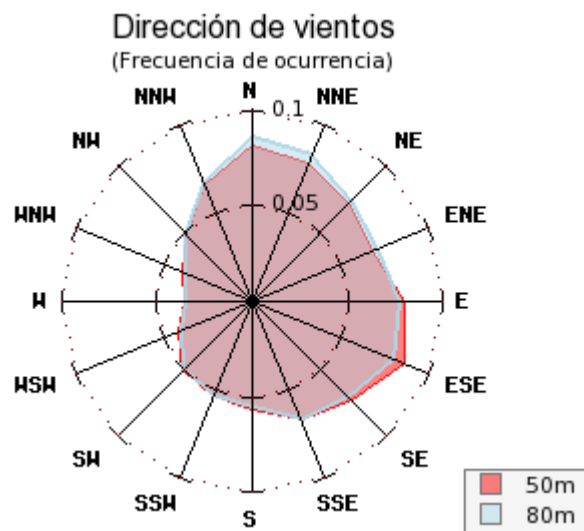


Figura 70 - Dirección y frecuencia de vientos

Se puede observar que el aerogenerador deberá situarse en la dirección este-sureste (ESE).

#### 7.11.3.1 Estudio por superficie limitadora de obstáculos

El emplazamiento definitivo del aerogenerador se seleccionará de acuerdo a la superficie limitadora de obstáculos.

La superficie horizontal interna presenta una altura de 45 m haciendo inviable la disposición del aerogenerador debajo de esta superficie. Sin embargo, el mismo podría localizarse debajo de la superficie cónica, a una distancia lo suficientemente alejada como para que no vulnere dicha superficie.

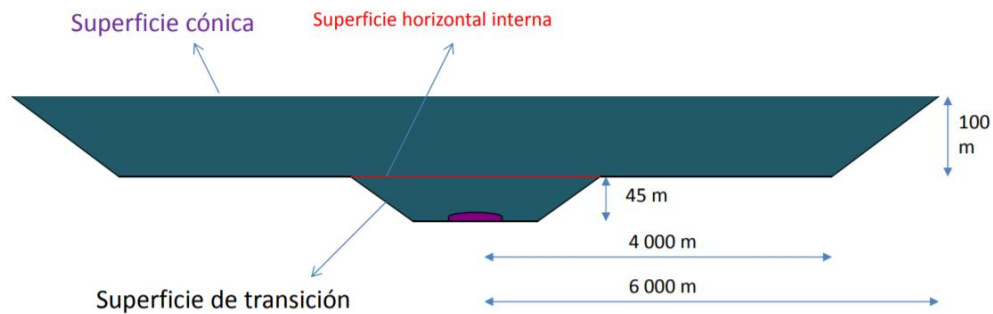


Figura 71 - Superficies Limitadoras de Obstáculos

$$\text{Distancia límite del aerogenerador} = \frac{15 \text{ m}}{\text{pendiente superficie cónica}} = \frac{15}{0.05} = 300 \text{ m}$$

A partir de un radio superior a los 4300 m medido desde el centro de la pista, la superficie limitadora de obstáculos no será vulnerada por el aerogenerador.

Finalmente, una vez establecido el radio a partir del cual puede ser emplazado el generador de electricidad, se seleccionará aquel punto que se encuentre lo más alejado posible de la ciudad. Esta última medida busca minimizar el impacto de las cargas acústicas. Por lo tanto, la ubicación final será la siguiente:



Figura 72 - Emplazamiento del aerogenerador

## 8 Conclusiones

### 8.1 Sobre la metodología y el cálculo

La metodología propuesta permite determinar los parámetros iniciales necesarios para el cálculo. Dichos parámetros nos ayudan a comprender la performance de los diferentes vehículos a nivel operativo. Una vez establecidas las especificaciones técnicas de los mismos, se lleva a cabo un análisis de tiempos (de servicio, circulación, carga y descarga de las baterías) con el objeto de dar con la cantidad óptima de vehículos eléctricos.

Si bien se empleó un algoritmo de optimización, cabe resaltar que los emplazamientos aeroportuarios no operan necesariamente con la cantidad óptima de GSE, por lo que la reducción de emisiones podría ser superior a la expuesta.

El modelo en sí presenta diversas ventajas:

- Puede ser empleado en cualquier emplazamiento aeroportuario, sin importar la complejidad del mismo. La configuración geométrica de las plataformas no representa una complicación.
- Se pueden simular todo tipo de escenarios sin importar si los movimientos se corresponden con operaciones comerciales de carga o de pasajeros.
- Se hace distinción entre los diferentes tipos de servicio de las aeronaves, ya sean vuelos regulares o low-cost, origen destino o escala.
- Se diferencia el tipo de fuselaje de la mezcla de tráfico, ya sea Narrow Body o Wide Body.

En cuanto a las desventajas se puede mencionar que en el caso de querer analizar un intervalo temporal mayor a una semana, la cantidad de datos a procesar dificultaría el armado de los diagramas de Gantt para la determinación de la cantidad óptima de eGSE. En este caso particular que se ha desarrollado un algoritmo en Matlab para evitar el armado de los diagramas, no hay restricciones en cuanto a la cantidad de movimientos.

Cabe destacar que el acercamiento a los resultados reales depende en gran medida de los datos que se dispongan. Contar con la asignación de puestos de estacionamiento resulta sustancial para poder predecir los ciclos de carga y de descarga de los vehículos eléctricos.

### 8.2 Sobre los resultados

En un inicio se había planteado la posibilidad de convertir toda la flota de GSE a vehículos eléctricos. Sin embargo, se vio que esta tarea estaba íntimamente relacionada a la disponibilidad de vehículos en el mercado. Si bien el camión cisterna de combustible es el vehículo que genera el mayor aporte contaminante, la falta de un vehículo eléctrico de tales características hace que las emisiones no puedan ser contrarrestadas completamente. De todas formas, tal como se ha visto, el reemplazo parcial de los GSE

genera un impacto positivo en los estándares de calidad del aire, permitiendo reducir el 65% de las emisiones anuales.

El aporte contaminante gaseoso anualizado total es 1258 *kg* de óxido de nitrógeno, 906 *kg* de monóxido de carbono y 590 *kg* de hidrocarburos, logrando una disminución del 61% en *NO<sub>x</sub>*, 73% en *CO* y 61% en *HC*.

Por otra parte, los tiempos de autonomía de los vehículos a combustión interna son superiores a los expuestos por los vehículos eléctricos. Esto hace que se requieran menos vehículos para abastecer a la misma demanda de aeronaves. Sin embargo, el beneficio de los vehículos eléctricos radica en el ahorro de combustible. Hoy en día precio de la electricidad se encuentra muy por debajo del precio del combustible, haciendo que se puedan obtener grandes réditos económicos. En este caso particular, se obtuvo un ahorro de combustible anual del 74% (equivalente a 147.456 litros de combustible).

En cuanto al uso de fuentes de energía alternativa para la generación de energía eléctrica se puede decir que si bien el lugar geográfico en el cuál se emplazó el aerogenerador no es totalmente eficiente (bajo factor de capacidad), el mismo puede cumplir ampliamente con los requisitos energéticos impuestos por los eGSE.

Es más que evidente que el proceso de conversión de los vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos trae aparejados grandes cambios, siendo la adaptación de la infraestructura el eje principal. Sin embargo, el impacto producido por la reducción de las emisiones y el ahorro de combustible son los pilares que fomentan la electrificación de los vehículos haciendo que sea factible su implementación.

### **8.3 Observación y recomendaciones**

Tal como se mencionó en el desarrollo del informe, en el caso de las aeronaves de fuselaje angosto se adoptaron ciertos tiempos de servicio que surgieron de mediciones en el Aeropuerto Jorge Newbery, mientras que en el caso de las aeronaves de fuselaje ancho se consideraron tiempos de servicio que duplicaban a los anteriores. Para la obtención de resultados más precisos, se recomienda la medición de tiempos en campo, de forma tal que se refleje la realidad actual del emplazamiento aeroportuario.

La determinación de la potencia media resulta sustancial para la estimación de los tiempos de agotamiento de combustible y de descarga de las baterías. Sin embargo, ésta contempla que la relación de tiempos de servicio y circulación de los equipos es similar. Se recomienda que una vez obtenida la proporción de tiempos, se realice una retroalimentación al modelo, haciendo un ajuste de la potencia media.

### **8.4 Trabajos futuros**

A lo largo del desarrollo de este trabajo final de grado han ido surgiendo otros campos de investigación asociados a la temática en cuestión. Abordar los mismos en el presente informe no se cree conveniente dado que excede el alcance del trabajo. Sin

embargo, se pueden encuadrar dentro de una línea de investigación más amplia, a desarrollar en el futuro. Entre estos campos de investigación cabe citar los siguientes:

- Evaluar la sensibilidad de los diferentes parámetros intervinientes en el cálculo, mediante la aplicación de la metodología en diferentes emplazamientos aeroportuarios.
- Comparar los resultados obtenidos con Aeropuertos de características similares.
- Determinar la contaminación gaseosa producida por otros focos de emisión (aeronaves, vehículos de acceso al aeropuerto y plantas de energía eléctrica), de forma tal que se puedan llevar a cabo modelos de dispersión.
- Adaptar la metodología propuesta para los vehículos de acceso al aeropuerto (GAV) y determinar los beneficios de su implementación.
- Determinar cómo afecta la cantidad de pasajeros de una aeronave, en los tiempos operativos y en la cantidad de vehículos que deben brindar asistencia.
- Al trabajar con un modelo optimizado, las distancias recorridas se reducen en gran medida. Determinar el ahorro producido por el menor desgaste de los neumáticos puede resultar de gran interés.
- Realizar un análisis económico detallado en el cuál se contemple el costo de los vehículos, la vida útil de las baterías, el ahorro en combustible, etc. De esta forma se podrá evidenciar con mayor detalle los beneficios que presentan los vehículos eléctricos.
- Estudiar la posibilidad de asignar los puestos de estacionamiento de las aeronaves de acuerdo a los caminos de circulación de los GSE.



## 9 ANEXO A

### 9.1 Listado de vehículos eléctricos

A continuación se muestra una lista con los principales vehículos eléctricos que se encuentran disponibles en el mercado:

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]	
REMOLCADOR DE AERONAVES	Lektro	AP8360	Lead-Acid	190 AH	1,5	
		AP8600A-EZ (13.6 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	5,1	
		AP8600A (13.6 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	5,1	
		AP8650AX-EZ (18 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	8,8	
		AP8650AX (18 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	8,8	
		AP8700C-EZ (25 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	23,1	
		AP8700C (25 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	23,1	
		AP8750C-EZ (31.7 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	24,8	
		AP8750C (31.7 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	24,8	
		AP8700CX-EZ (27.2 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	23,1	
		AP8700CX (27.2 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	23,1	
		AP8750CX-EZ (34 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	24,8	
		AP8750CX (34 Toneladas)	Lead-Acid	328 AH	24,8	
		AP8750CX-AL (38.5 Toneladas)	Lead-Acid	275 AH	24,8	
		AP8850SDA-H	Lead-Acid	375 AH	33,8	
		AP8800SDA-EZ (40.8 Toneladas)	Lead-Acid	372 AH	24,8	
		AP8800SDA (40.8 Toneladas)	Lead-Acid	372 AH	24,8	
		AP8850SDA-EZ (54.4 Toneladas)	Lead-Acid	372 AH	33,8	
		AP8850SDA (54.4 Toneladas)	Lead-Acid	440 AH	33,8	
		AP8900SDB (68 Toneladas)	Lead-Acid	595 AH	45,5	
		AP8950SDB (81.6 Toneladas)	Lead-Acid	595 AH	45,5	
		AP8750C-AL-700 (36.3 Toneladas)	Lead-Acid	275 AH	24,8	
		AP8850SDA-AL-100 (54.4 Toneladas)	Lead-Acid	440 AH	33,8	
		AP8925SDB-AL/HS-200 (52.1 Toneladas)	Lead-Acid	750 AH	55,5	
		AP8950SDB-AL-200 (95.2 Toneladas)	Lead-Acid	680 AH	45,5	
		AP8950SDB-AL-250 (127 Toneladas)	Lead-Acid	850 AH	55,5	
	Charlotte	CPB35E - Electric Pushback Tractor	-	-	1000 AH	52
		TE.206 - Electric Tow Tractor	-	-	220-240 AH	6
		TE.208 - Electric Tow Tractor	-	-	325-425 AH	8
	Goldhofer	Bison E 370 (100 Toneladas)	Lithium-Ion	-	105 kWh	80
		Bison E 620 (250 Toneladas)	Lithium-Ion	-	140 kWh	115
	Mototok	SPACER 8600 MA PB (95 Toneladas)	Gel	-	300 AH	-
TWIN SERIES (39-85 Toneladas)		Gel	-	220 AH	-	
Trepel	Challenger 150e	Lead-Acid	-	300 AH	31 (x2)	
	Challenger 280e	Lead-Acid	-	875 AH	46 (x2)	
Kalmar Motor AB	TBL 100 (16 Toneladas)	-	-	-	-	

Tabla 53 - Remolcadores de aeronaves disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
TRACTOR DE EQUIPAJE/CARGA	Mulag	Comet 3E	Lead-Acid or Lithium-Ion	620 AH	30
		Comet 4E	Lead-Acid or Lithium-Ion	930 AH	30
		Comet 5E	Lead-Acid or Lithium-Ion	1550 AH	40
	Harlan Global	HLE	Lead-Acid LFP	500-720 AH 400-576 AH	- -
		HTSBEL	LFP	300-500 AH	-
	Charlatte	T137-V3 - Electric Bagagge Tractor	-	500-625 AH	30
		CFB200 - Electric Inter-Liner Bagagge Tractor	-	495-540 AH	30
	Tug Technologies	Tug M7	-	-	-
	Goldhofer	Sherpa E (50 Toneladas)	Lithium-Ion	70 kWh	70
	Wollard	M40E	Lead-Acid or Lithium-Ion	75 AH por módulo	40,2
	Kalmar Motor AB	FB 150	Lead-Acid	-	32
	Tianyi Corp.	ZY76A90-10003MD135FB-4P3SA	Lithium-Ion	900 AH	22

Tabla 54 - Tractores de equipaje/carga disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
UNIDAD DE POTENCIA EN TIERRA	Unitron	UFC-20-40M KVA AC	-	-	-
		GPC-120T 400 Hz	-	-	-
		GFC-150 T 400 Hz	-	-	-
		GFC-15M 400Hz	-	-	-
		GFC-180T 400 Hz	-	-	-
		GFC-25M 400 Hz	-	-	-
		GFC-37M 400 Hz	-	-	-
		GFC-60 M 400 Hz	-	-	-
		GFC-75M 400 Hz	-	-	-
	GFC-90M 400Hz	-	-	-	
ITW GSE	7400 eGPU (4 packs)	-	160 kWh	85,5	

Tabla 55 - Unidades de potencia en tierra disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
CINTA TRANSPORTADORA	Charlatte	CBL2000E - Electric Full Size Beltloader	-	375-425 AH	30
		CBL150E - Electric Intermediate Beltloader	-	500-660 AH	3,7
	TLD	NBL-E	-	450 AH	22
		RBL Electric Regional Belt Loader	-	375 AH	4,6
	Wollard	TC-999	Lead-Acid or Lithium-Ion	-	-
		TC-888	Lead-Acid or Lithium-Ion	300-400 AH	-
	Tug Technologies	Tug 660 E	-	-	-
Tianyi Corp.	-	LFP	46.6 kWh	13	

Tabla 56 - Cintas transportadoras disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
ESCALERA DE PASAJEROS	Wollard	CMPS-170	Lead-Acid or Lithium-Ion	-	-
		CMPS-228	Lead-Acid or Lithium-Ion	-	-
	TLD	ABS-2045-E	-	-	-
	Cheerong	Passenger Stairs	Lead-Acid	640 AH	23
	Tianyi Corp.	JSTY5080KTE	LFP	46.6 kWh	22

Tabla 57 - Escaleras de pasajeros disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
CAMIÓN CATERING	Kamag	E-Catering Wiesel	Lithium-Ion	80 kWh	156
	DOLL	ECAT	Lithium-Ion	-	-
	Tianyi Corp.	JSTY5180JSPE	-	228 kWh	200

Tabla 58 - Camiones de catering disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
ELEVADOR DE CARGA	JBT Aerotech	Commander 15i E Electric Loader	Lead-Acid or Lithium-Ion	50-67 kWh	-
		Commander 30i E Electric Loader (15000 Kg)	Lithium-Ion	56 kWh	-
		Ranger 15E Electric Cargo Loader (7000 Kg)	Lithium-Ion	48 kWh	-

Tabla 59 - Elevadores de carga disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
BUS DE PASAJEROS	Cobus	E.Cobus 3000 (110 pasajeros)	LTO	36-120 kWh	160
	Yutong	E-Bus ZK6140BEVBD	LFP	258 kWh	150
	Mallaghan	Árbus 50w (118 pasajeros)	-	189 kWh	250

Tabla 60 - Buses de pasajeros disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
VEHÍCULO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	Charlatte	CWT300E - Electric Water Truck	-	500 AH	30
	TLD	LSP-900-V-E	Lead-Acid or Lithium-Ion	600 AH	-

Tabla 61 - Vehículos de abastecimiento de agua potable disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
VEHÍCULO DE LIMPIEZA DE AGUAS RESIDUALES	Charlatte	CLT200E - Electric Lav Tuck	-	500 AH	30
	TLD	LSP-900-V-E	Lead-Acid or Lithium-Ion	600 AH	-

Tabla 62 - Vehículos de limpieza de aguas residuales disponibles en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
VEHICULO DE LIMPIEZA	Mercedes	VITO E-CELL	Lithium-Ion	36 kWh	60

Tabla 63 - Vehículo de limpieza disponible en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	Tug Technologies	AC20E	-	-	-

Tabla 64 - Unidad de acondicionamiento de aire disponible en el mercado

eGSE	FABRICANTES	MODELO	TIPO DE BATERÍA	CAPACIDAD DE LAS BATERIAS	POTENCIA DEL VEHÍCULO [kW]
VEHÍCULO DE PASAJEROS CON MOVILIDAD REDUCIDA	AviogeI	Thunderlift 6000 E	Lithium-Ion	1000 AH	30

Tabla 65 - Vehículo de pasajeros con movilidad reducida disponible en el mercado

## 9.2 Ejemplo de cálculo de la potencia instantánea de la cinta transportadora

A continuación se muestra el cálculo de potencia instantánea correspondiente a la cinta transportadora a combustión interna:

<b>CINTA TRANSPORTADORA A COMBUSTIÓN INTERNA</b>			
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>	<b>Aceleración [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Potencia [kW]</b>
0	0,00	0	0,00
<b>2</b>	<b>5,56</b>	<b>2,78</b>	<b>48,08</b>
4	5,56	0,00	1,24
6	5,56	0,00	1,24
8	5,56	0,00	1,24
10	5,56	0,00	1,24
12	5,56	0,00	1,24
14	5,56	0,00	1,24
16	5,56	0,00	1,24
18	5,56	0,00	1,24
20	5,56	0,00	1,24
22	5,56	0,00	1,24
24	5,56	0,00	1,24
26	5,56	0,00	1,24
28	5,56	0,00	1,24
30	5,56	0,00	1,24
32	5,56	0,00	1,24
34	5,56	0,00	1,24
36	5,56	0,00	1,24
38	5,56	0,00	1,24
40	5,56	0,00	1,24
42	5,56	0,00	1,24
44	5,56	0,00	1,24
46	5,56	0,00	1,24
48	5,56	0,00	1,24
50	5,56	0,00	1,24
52	5,56	0,00	1,24
54	5,56	0,00	1,24
56	5,56	0,00	1,24
58	5,56	0,00	1,24
60	0,00	-2,78	0,00
<b>Pmed [kW]</b>			2,67
<b>FC [%]</b>			4,17

Tabla 66 - Cálculo de potencia instantánea de la cinta transportadora a combustión interna

Se observa que la cinta transportadora alcanza la velocidad en plataforma a los 2 segundos y cuando se produce el pico de potencia, ésta no supera el 80% de la potencia máxima (64 kW).

Por su parte, el cálculo de potencia instantánea correspondiente a la cinta transportadora eléctrica es:

<b>CINTA TRANSPORTADORA ELÉCTRICA</b>			
<b>Tiempo [s]</b>	<b>Velocidad [m/s]</b>	<b>Aceleración [m/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Potencia [kW]</b>
0	0,00	0	0,00
2	1,85	0,93	8,11
4	3,71	0,93	16,31
<b>6</b>	<b>5,56</b>	<b>0,93</b>	<b>24,68</b>
8	5,56	0,00	1,85
10	5,56	0,00	1,85
12	5,56	0,00	1,85
14	5,56	0,00	1,85
16	5,56	0,00	1,85
18	5,56	0,00	1,85
20	5,56	0,00	1,85
22	5,56	0,00	1,85
24	5,56	0,00	1,85
26	5,56	0,00	1,85
28	5,56	0,00	1,85
30	5,56	0,00	1,85
32	5,56	0,00	1,85
34	5,56	0,00	1,85
36	5,56	0,00	1,85
38	5,56	0,00	1,85
40	5,56	0,00	1,85
42	5,56	0,00	1,85
44	5,56	0,00	1,85
46	5,56	0,00	1,85
48	5,56	0,00	1,85
50	5,56	0,00	1,85
52	5,56	0,00	1,85
54	5,56	0,00	1,85
56	3,71	-0,93	16,31
58	1,85	-0,93	8,11
60	0,00	-0,93	0,00
<b>Pmed [kW]</b>			<b>3,52</b>
<b>FC [%]</b>			<b>11,75</b>

Tabla 67 - Cálculo de potencia instantánea de la cinta transportadora eléctrica

Se observa que la cinta transportadora eléctrica alcanza la velocidad en plataforma 4 segundos más tarde que la cinta a combustión interna y cuando se produce el pico de potencia, ésta no supera el 80% de la potencia máxima (30 kW).



## 10 Bibliografía

- [1] Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (2014), *Informe de Síntesis Cambio Climático 2014*.
- [2] E. Fleuti, S. Maraini, *Air Quality Assessment Sensitivities – Zurich Airport Case Study*.
- [3] International Civil Aviation Organization (2011), *Airport Air Quality Manual*, Montreal.
- [4] Federal Aviation Administration F.A.A., *Voluntary Airport Low Emissions (VALE) Program*, Washington D.C.
- [5] Federal Aviation Administration F.A.A. (2015), *Aviation Emissions, Impacts & Mitigation: A Primer*, Office of Environment and Energy.
- [6] Electric Power Research Institute EPRI (2009), *Electrification of an Airport Lower Deck Container Loader*.
- [7] Electric Power Research Institute EPRI (2008), *Airport Electrification Strategy at the Los Angeles International Airport*, Los Angeles.
- [8] F. Gomez, D. Scholz (2009), *Improvements to Ground Handling Operations and their Benefits to Direct Operating Costs*, Hamburg University of Applied Sciences, Alemania
- [9] X. Wu, D. Freese, A. Cabrera, W. A. Kitch (2015), *Electric Vehicles' Energy Consumption Measurement and Estimation*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Beijing.
- [10] L. Sznajderman, M. Coppa, G. A. Ramirez-Diaz, A. Di Bernardi (2018), *Cuantificación del aporte contaminante gaseoso producto de las operaciones de GSE en plataforma: metodología según tiempos operativos*, UIDET GTA-GIAI, Buenos Aires.
- [11] C. Trujillo, L. Sznajderman, A. Di Bernardi (2018), *Estudio del Aporte Contaminante Gaseoso Generado por la Circulación de los Vehículos de Apoyo en Tierra (GSE) en Emplazamientos Aeroportuarios*, UIDET GTA-GIAI, Buenos Aires.
- [12] Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea (2017), *Normativa de Seguridad en plataforma*, 10th edición AENA, Dirección de Operaciones, Seguridad y Servicios, Madrid.
- [13] Posicharge (2021), *Intelligent Fast Charging Systems for Electric Ground Support Equipment*, Corea.
- [14] Silman Industries, *Oakland International Airport eGSE charging Stations Terminal 1*.
- [15] Igor Štimac, Damir Vince, Bruna Jakšić (2013), *Model of Environment – Friendly Aircraft Handling – Case Study: Zagreb Airport*, Slovenia.

- [16] Administración Nacional de Aviación Civil ANAC (2020), *Publicación de Información Aeronáutica (AIP) SAEZ – EZEIZA/Ministro Pistarini*.
- [17] European Environment Agency EEA (2019), Non-road mobile sources and machinery.
- [18] Aerohandling (2013), *Manual de Operaciones de Rampa*, Argentina.
- [19] L. Sznajderman, M. Coppa, A. Di Bernardi, J. López Camelo, *Modelo para representar los tiempos en servicio de los vehículos de asistencia a las aeronaves*, UIDET GTA-GIAI, Buenos Aires.
- [20] Boeing (2013), *Airplane Characteristics for Airport Planning. Boeing Commercial Airplanes*.
- [21] Base de datos CAMMESA (2019), Argentina.